

HEAT SINK MATERIAL AND ITS MANUFACTURING METHOD

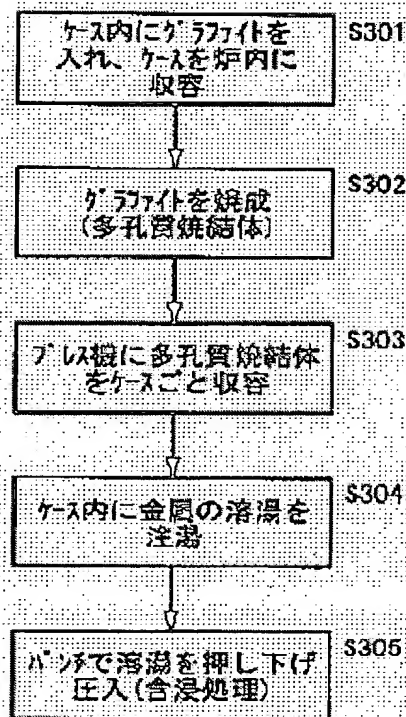
Patent number: JP2001339022
Publication date: 2001-12-07
Inventor: ISHIKAWA SHUHEI; MITSUI TAKASHI; SUZUKI TAKESHI; NAKAYAMA NOBUSUKE; TAKEUCHI HIROYUKI; YASUI SEIJI
Applicant: NGK INSULATORS LTD
Classification:
- international: H01L23/373; B22F3/14; B22F3/26; C04B41/85; C04B41/88; C22C1/05; C22C1/10
- european:
Application number: JP20000388019 20001221
Priority number(s):

Abstract of JP2001339022

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the productivity of a high-quality heat sink by making easily manufacturable a heat sink material having such a characteristic that is adaptable to the balance between the coefficients of thermal expansion and thermal conductivity required for actual electronic parts (including semiconductor devices).

SOLUTION: Graphite is put in a case and the case is housed in a furnace (step S301). A porous sintered compact of graphite is manufactured by baking the graphite in the furnace (step S302). Then the sintered compact is taken out of the furnace together with the case and housed in the recessed section of a press while the compact is put in the case (step S303). After pouring a molten metal into the case (step S304), the molten metal is press-injected into the porous sintered compact by pressing down the metal in the case by inserting a punch into the recessed section of the press (step S305). Consequently, the molten metal is impregnated into the open pores of the sintered compact.

FIG. 8



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-339022

(P2001-339022A)

(43) 公開日 平成13年12月7日 (2001. 12. 7)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	メモ* (参考)
H 0 1 L 23/373		B 2 2 F 3/14	D 4 K 0 1 8
B 2 2 F 3/14		3/26	A 4 K 0 2 0
3/26		C 0 4 B 41/85	F 5 F 0 3 6
C 0 4 B 41/85		41/88	V
41/88		C 2 2 C 1/05	C

審査請求 有 請求項の数65 O L (全 32 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-388019 (P2000-388019)

(22) 出願日 平成12年12月21日 (2000. 12. 21)

(31) 優先権主張番号 特願平11-368108

(32) 優先日 平成11年12月24日 (1999. 12. 24)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願2000-80833 (P2000-80833)

(32) 優先日 平成12年3月22日 (2000. 3. 22)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004064

日本碍子株式会社

愛知県名古屋市長瑞穂区須田町2番56号

(72) 発明者 石川 修平

愛知県名古屋市長瑞穂区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

(72) 発明者 三井 任

愛知県名古屋市長瑞穂区須田町2番56号 日

本碍子株式会社内

(74) 代理人 100077665

弁理士 千葉 剛宏 (外1名)

最終頁に続く

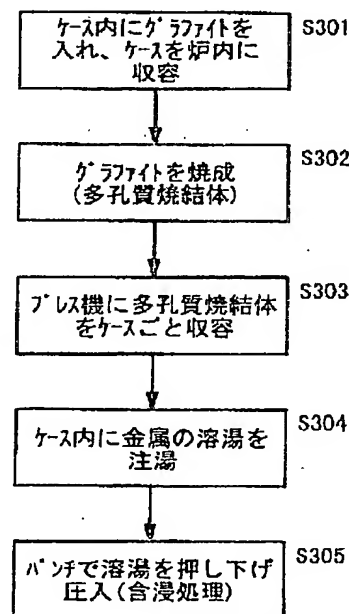
(54) 【発明の名称】 ヒートシンク材及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 実際の電子部品（半導体装置を含む）等で求められる熱膨張率と熱伝導率とのバランスに適合した特性を有するヒートシンク材を容易に製造できるようにして、高品質のヒートシンクの生産性を向上させる。

【解決手段】 ケース内にグラファイトを入れ、該ケースを炉内に収容する（ステップS301）。炉内を焼成して、グラファイトによる多孔質焼結体を作製する（ステップS302）。その後、炉から多孔質焼結体をケースごと取り出して、プレス機の凹部内に多孔質焼結体をケースごと収容する（ステップS303）。次に、ケース内に金属の溶湯を注湯した後（ステップS304）、パンチを凹部内に挿通し、ケース内の前記溶湯を押し下げ圧入する（ステップS305）。このパンチの押圧処理によって、金属の溶湯は、多孔質焼結体の開気孔部中に含浸されることとなる。

FIG. 8



【特許請求の範囲】

【請求項 1】カーボン又はその同素体と、金属とを含み、

直交する 3 軸方向の平均又はいずれかの軸方向の熱伝導率が 160 W/mK 以上であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 2】請求項 1 記載のヒートシンク材において、直交する 3 軸方向の平均又はいずれかの軸方向の熱伝導率が 180 W/mK 以上であって、かつ、熱膨張率が $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \sim 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 3】請求項 1 記載のヒートシンク材において、前記同素体がグラファイトであることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 4】請求項 1 記載のヒートシンク材において、前記同素体がダイヤモンドであることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 5】請求項 1 記載のヒートシンク材において、前記カーボン又はその同素体として、熱伝導率が 100 W/mK 以上のものが使用されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 6】請求項 1、3 又は 5 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材において、前記カーボン又はその同素体を焼成してネットワーク化することによって得られる多孔質焼結体に前記金属が含まれて構成されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 7】請求項 6 記載のヒートシンク材において、前記多孔質焼結体の気孔率が $10\text{ vol}\% \sim 50\text{ vol}\%$ であって、平均気孔径が $0.1\text{ }\mu\text{m} \sim 200\text{ }\mu\text{m}$ であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 8】請求項 6 又は 7 記載のヒートシンク材において、前記カーボン又はその同素体と前記金属との体積率が、前記カーボン又はその同素体が $50\text{ vol}\% \sim 80\text{ vol}\%$ 、金属が $50\text{ vol}\% \sim 20\text{ vol}\%$ の範囲であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 9】請求項 6 ～ 8 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材において、前記カーボン又はその同素体に、該カーボン又はその同素体を焼成した際の閉気孔率を低減させる添加物が添加されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 10】請求項 9 記載のヒートシンク材において、前記閉気孔率を低減させる添加物が、 SiC 及び／又は Si であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 11】請求項 1、3 又は 5 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材において、前記カーボン又はその同素体の粉体に、水又は結合材を混合し、所定圧力下で成形された予備成形体に、前記金

属が含まれて構成されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 12】請求項 11 記載のヒートシンク材において、前記カーボン又はその同素体の粉体の平均粉末粒度が $1\text{ }\mu\text{m} \sim 2000\text{ }\mu\text{m}$ であり、前記粉体が最小の長さをとる方向と、最大の長さをとる方向で、その長さの比が $1:5$ 以下であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 13】請求項 11 又は 12 記載のヒートシンク材において、前記カーボン又はその同素体と前記金属との体積率が、前記カーボン又はその同素体が $20\text{ vol}\% \sim 80\text{ vol}\%$ 、金属が $80\text{ vol}\% \sim 20\text{ vol}\%$ の範囲であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 14】請求項 1、3 又は 5 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材において、前記金属が溶解した液体状態又は固液共存状態に、前記カーボン又はその同素体の粉体を混合し、鋳造成形されて構成されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 15】請求項 6 ～ 14 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材において、閉気孔率が $12\text{ vol}\%$ 以下であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 16】請求項 6 ～ 15 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材において、前記金属に、界面の濡れ性改善のための元素が添加されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 17】請求項 16 記載のヒートシンク材において、前記界面の濡れ性改善のための添加元素が Te 、 Bi 、 Pb 、 Sn 、 Se 、 Li 、 Sb 、 Tl 、 Ca 、 Cd 、 Ni から選択された 1 種以上であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 18】請求項 6 ～ 17 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材において、前記金属に、前記カーボン又はその同素体との反応性を向上させるための元素が添加されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 19】請求項 18 記載のヒートシンク材において、前記カーボン又はその同素体との反応性を向上させるための添加元素が Nb 、 Cr 、 Zr 、 Be 、 Ti 、 Ta 、 V 、 B 、 Mn から選択された 1 種以上であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 20】請求項 6 ～ 19 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材において、前記金属に、湯流れ性を向上させるため、固相／液相の温度範囲が 30°C 以上の元素が添加されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項21】請求項20記載のヒートシンク材において、

前記添加元素がSn、P、Si、Mgから選択された1種以上であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項22】請求項6～21のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

前記金属に、融点を低減させるための元素が添加されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項23】請求項22記載のヒートシンク材において、

前記添加元素がZnなどであることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項24】請求項6～23のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

前記金属に、熱伝導率を向上させるための元素が添加されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項25】請求項24記載のヒートシンク材において、

前記金属に、前記熱伝導率を向上させるための元素を添加し、熱処理、加工及びカーボンとの反応後、偏析等によって得られる合金の熱伝導率が10W/mK以上であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項26】請求項1～5のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

前記カーボン又はその同素体の粉体と前記金属の粉体とを混合し、所定圧力下で成形されて構成されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項27】請求項26記載のヒートシンク材において、

前記カーボン又はその同素体の粉体と前記金属の粉体の平均粉末粒度が1μm～500μmであることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項28】請求項1～5のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

前記カーボン又はその同素体の粉砕裁断材と前記金属の粉体とを混合し、所定温度、所定圧力下で成形されて構成されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項29】請求項26～28のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

前記カーボン又はその同素体と前記金属との体積率が、前記カーボン又はその同素体が20vol%～60vol%、金属が80vol%～40vol%の範囲であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項30】請求項26～29のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

熱伝導率が200W/mK以上であって、かつ、熱膨張率が $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ～ $14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項31】請求項26～30のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

前記カーボン又はその同素体に、成形後の再焼成を可能とする添加物が添加されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項32】請求項31記載のヒートシンク材において、

前記成形後の再焼成を可能とする添加物が、SiC及び/又はSiであることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項33】請求項26～32のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

10 前記金属に、界面の濡れ性改善のための低融点金属が添加されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項34】請求項33記載のヒートシンク材において、

前記低融点金属がTe、Bi、Pb、Sn、Se、Li、Sb、Se、Tl、Ca、Cd、Niから選択された1種以上であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項35】請求項26～34のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

20 前記金属に、前記カーボン又はその同素体との反応性を向上させるための元素が添加されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項36】請求項35記載のヒートシンク材において、

前記カーボン又はその同素体との反応性を向上させるための添加元素がNb、Cr、Zr、Be、Ti、Ta、V、B、Mnから選択された1種以上であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項37】請求項26～36のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

30 前記金属に、湯流れ性を向上させるため、固相/液相の温度範囲が30℃以上の元素が添加されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項38】請求項37記載のヒートシンク材において、

前記添加元素がSn、P、Si、Mgから選択された1種以上であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項39】請求項26～38のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

40 前記金属に、融点を低減させるための元素が添加されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項40】請求項39記載のヒートシンク材において、

前記添加元素がZnなどであることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項41】請求項1～40のいずれか1項に記載のヒートシンク材において、

前記カーボン又はその同素体の表面に、カーバイド層が形成されていることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項42】請求項41記載のヒートシンク材において、

前記カーバイド層の形成は、少なくとも前記カーボン又はその同素体と添加元素との反応に基づくものであることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 4 3】請求項 4 2 記載のヒートシンク材において、

前記添加元素が、Ti、W、Mo、Nb、Cr、Zr、Be、Ta、V、B、Mn から選択された 1 種以上であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 4 4】請求項 1 ～ 4 3 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材において、

前記金属は、Cu、Al、Ag から選択された少なくとも 1 種であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 4 5】請求項 1 ～ 4 4 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材において、

最小の熱伝導率をとる方向と、最大の熱伝導率をとる方向で、熱伝導率の比が 1 : 5 以下であることを特徴とするヒートシンク材。

【請求項 4 6】カーボン又はその同素体を焼成してネットワーク化することによって多孔質焼結体を作製する焼成工程と、

金属を前記多孔質焼結体中に含浸させる含浸工程と、少なくとも前記金属が含浸された前記多孔質焼結体を冷却する冷却工程とを有することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 4 7】請求項 4 6 記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記焼成工程は、容器内に前記カーボン又はその同素体を入れ、該容器内を加熱することにより、前記カーボン又はその同素体による多孔質焼結体を作製することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 4 8】請求項 4 6 又は 4 7 記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記含浸工程は、容器内に入れられた前記金属の溶湯に前記多孔質焼結体を浸漬し、前記容器内に含浸用ガスを導入して前記容器内を加圧することにより、前記溶湯を多孔質焼結体中に含浸させることを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 4 9】請求項 4 8 記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記加圧力が、前記カーボン又はその同素体による多孔質焼結体の圧縮強度の 4 ～ 5 倍以下であることを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 5 0】請求項 4 9 記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記加圧力が、1.01 ～ 202 MPa (10 ～ 2000 気圧) であることを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 5 1】請求項 4 6 ～ 5 0 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記冷却工程は、前記容器内の前記含浸用ガスを抜き、

速やかに冷却用ガスを導入して前記容器内を冷却することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 5 2】請求項 4 6 ～ 5 1 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記焼成工程は、ケース内に前記カーボン又はその同素体を収容する工程と、前記ケース内を予熱して、前記カーボン又はその同素体による多孔質焼結体を作製する工程とを有し、

前記含浸工程は、プレス機の金型に前記ケースを収容する工程と、前記ケース内に前記金属の溶湯を注湯する工程と、前記プレス機のパンチで前記溶湯を押し下げ圧入して前記ケース内の前記多孔質焼結体中に前記溶湯を含浸させる工程とを有することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 5 3】請求項 5 2 記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記パンチによる圧入時の圧力が、前記カーボン又はその同素体による多孔質焼結体の圧縮強度の 4 ～ 5 倍以下であることを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 5 4】請求項 5 3 記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記パンチによる圧入時の圧力が、1.01 ～ 202 MPa (10 ～ 2000 気圧) であることを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 5 5】請求項 5 3 又は 5 4 記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記金型として、前記多孔質焼結体に残存するガスを抜くためのガス抜き孔、又は、ガスを抜くための隙間部が形成された金型を用いることを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 5 6】請求項 4 6 ～ 5 5 のいずれか 1 項に記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記冷却工程は、前記多孔質焼結体に前記金属が含浸された前記ヒートシンク材を、冷却ガスの吹き付けもしくは冷却水が供給されている冷却ゾーン又は冷却用金型で冷却することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 5 7】カーボン又はその同素体の粉体に、水又は結合材を混合する工程と、

前記混合物を所定圧力下で予備成形体を成形する工程と、

金属を前記予備成形体中に含浸させる含浸工程とを有することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 5 8】金属が溶解した液体状態又は固液共存状態に、カーボン又はその同素体の粉体を混合する工程と、

前記混合物を鋳造成形する工程とを有することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項 5 9】カーボン又はその同素体の粉体と金属の粉体とを混合する混合工程と、

前記混合物をホットプレス機の金型内に入れ、所定温

10

20

30

40

50

度、所定圧力下で成形してヒートシンク材を作製する加圧工程とを有することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項60】カーボン又はその同素体の粉体と金属の粉体とを混合する混合工程と、

前記混合物を予備成形して予備成形体とする予備成形工程と、

前記予備成形体をホットプレス機の金型内に入れ、所定温度、所定圧力下で成形してヒートシンク材を作製する加圧工程とを有することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項61】カーボン又はその同素体の粉碎裁断材料と金属の粉体とを混合し、予備成形して混合物を作製する混合工程と、

前記混合物をホットプレス機の金型内に入れ、所定温度、所定圧力下で成形してヒートシンク材を作製する加圧工程とを有することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項62】カーボン又はその同素体の粉碎裁断材料と金属の粉体とを混合する混合工程と、

前記混合物を予備成形して予備成形体とする予備成形工程と、

前記予備成形体をホットプレス機の金型内に入れ、所定温度、所定圧力下で成形してヒートシンク材を作製する加圧工程とを有することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項63】請求項59～62のいずれか1項に記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記所定温度が前記金属における融点の -10°C ～ -50°C であり、

前記所定圧力が $10.13\sim 101.32\text{MPa}$ ($100\sim 1000$ 気圧)であることを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項64】請求項59～63のいずれか1項に記載のヒートシンク材の製造方法において、

加圧工程後に、前記ヒートシンク材を前記金属における融点以上まで加熱することを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【請求項65】請求項46～64のいずれか1項に記載のヒートシンク材の製造方法において、

前記金属は、Cu、Al、Agから選択された少なくとも1種であることを特徴とするヒートシンク材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えばICチップから発生する熱を効率よく放熱させるヒートシンクを構成するためのヒートシンク材及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、ICチップにとって熱は大敵であり、内部温度が最大許容接合温度を超えないようにしなければならない。また、パワートランジスタや半導体整流素子等の半導体装置では、動作面積当たりの消費電力が大きいため、半導体装置のケース（パッケージ）やリードから放出される熱量だけでは、発生熱量を放出しきれず、装置の内部温度が上昇して熱破壊を引き起こすおそれがある。

【0003】この現象は、CPUを搭載したICチップにおいても同じであり、クロック周波数の向上に伴って動作時の発熱量が多くなり、放熱を考慮した熱設計が重要な事項となってきた。

【0004】前記熱破壊の防止等を考慮した熱設計においては、ICチップのケース（パッケージ）に放熱面積の大きいヒートシンクを固着することを加味した素子設計や実装設計が行われている。

【0005】前記ヒートシンク用の材料としては、一般に、熱伝導度の良好な銅やアルミニウム等の金属材料が使用されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】近時、CPUやメモリ等のICチップにおいては、低消費電力を目的とした低電力駆動を図りながらも、素子の高集積化と素子形成面積の拡大に伴ってICチップ自体が大型化する傾向にある。ICチップが大型化すると、半導体基体（シリコン基板やGaAs基板）とヒートシンクとの熱膨張の差によって生じる応力が大きくなり、ICチップの剥離現象や機械的破壊が生じるおそれがある。

【0007】これを防止するためには、ICチップの低電力駆動の実現とヒートシンク材の改善が挙げられる。ICチップの低電力駆動は、現在、電源電圧として、従来から用いられてきたTTLレベル（5V）を脱して、3.3V以下のレベルが実用化されている。

【0008】一方、ヒートシンクの構成材料としては、単に熱伝導度を考えるのみでなく、半導体基体であるシリコンやGaAsと熱膨張率がほぼ一致し、しかも、熱伝導度の高い材料の選定が必要となってきた。

【0009】ヒートシンク材の改善に関しては、多種多様の報告があり、例えば窒化アルミニウム（AlN）を使用した例や、Cu（銅）-W（タングステン）を用いた例などがある。AlNは、熱伝導性と熱膨張性のバランスに優れており、特にSiの熱膨張率とほぼ一致することから、半導体基体としてシリコン基板を用いた半導体装置のヒートシンク材として好適である。

【0010】また、Cu-Wは、Wの低熱膨張性とCuの高熱伝導性を兼ね備えた複合材料であり、しかも、機械加工が容易であることから、複雑な形状を有するヒートシンクの構成材料として好適である。

【0011】また、他の例としては、SiCを主成分とするセラミック基材に金属Cuを20～40vol%の

割合で含有させたもの（従来例1：特開平8-279569号公報参照）や、無機物質からなる粉末焼結多孔質体にCuを5～30wt%含浸させたもの（従来例2：特開昭59-228742号公報参照）などが提案されている。

【0012】前記従来例1に係るヒートシンク材は、SiCと金属Cuの圧粉体を成形してヒートシンクを作製するという粉体成形であるため、熱膨張率と熱伝導率はあくまでも理論的な値であり、実際の電子部品等で求められる熱膨張率と熱伝導率のバランスを得ることができないという問題がある。

【0013】従来例2は、無機物質からなる粉末焼結多孔質体に含浸されるCuの比率が低く、熱伝導度を高める上で限界が生じるおそれがある。

【0014】一方、カーボンと金属を組み合わせた複合材料が開発され、実用化されているが、この複合材料は、金属をCuとした場合は、例えば放電加工用の電極として使用され、金属をPbとした場合は、例えば軸受部材として使用されており、ヒートシンク材として用途例が知られていない。

【0015】即ち、カーボンと金属を組み合わせた複合材料において、熱伝導率の高いものでも140W/mKであり、ICチップのヒートシンク材として必要な160W/mK以上を満足させることができないのが現状である。

【0016】本発明はこのような課題を考慮してなされたものであり、実際の電子部品（半導体装置を含む）等で求められる熱膨張率と熱伝導率とのバランスに適合した特性を得ることができるヒートシンク材を提供することを目的とする。

【0017】また、本発明の他の目的は、実際の電子部品（半導体装置を含む）等で求められる熱膨張率と熱伝導率とのバランスに適合した特性を有するヒートシンク材を容易に製造することができ、高品質のヒートシンクの生産性を向上させることができるヒートシンク材の製造方法を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明に係るヒートシンク材は、カーボン又はその同素体と、金属とを含み、直交する3軸方向の平均又はいずれかの軸方向の熱伝導率が160W/mK以上であることを特徴とする。これにより、セラミック基板や半導体基板（シリコン、GaAs）等と熱膨張率がほぼ一致し、熱伝導性のよいヒートシンク材を得ることができる。

【0019】また、直交する3軸方向の平均又はいずれかの軸方向の熱伝導率が180W/mK以上であって、かつ、熱膨張率が $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \sim 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるヒートシンク材も得ることができる。

【0020】前記同素体としては、グラファイトやダイヤモンドが好ましい。また、カーボン又はその同素体と

して、熱伝導率が100W/mK以上のものを使用することが好ましい。

【0021】そして、ヒートシンク材は、前記カーボン又はその同素体を焼成してネットワーク化することによって得られる多孔質焼結体に前記金属を含浸することにより構成することができる。

【0022】この場合、前記多孔質焼結体の気孔率が10vol%～50vol%であって、平均気孔径が0.1μm～200μmであることが好ましく、前記カーボン又はその同素体と前記金属との体積率は、前記カーボン又はその同素体が50vol%～80vol%、金属が50vol%～20vol%の範囲であることが好ましい。

【0023】また、前記カーボン又はその同素体に、該カーボン又はその同素体を焼成した際の閉気孔率を低減させる添加物を添加させることが好ましい。この添加物としては、SiC及び/又はSiを挙げることができる。

【0024】ヒートシンク材は、前記カーボン又はその同素体の粉体に、水又は結合材を混合し、所定圧力下で成形された予備成形体に、前記金属が含浸されて構成されていてもよい。この場合、粉体の平均粉末粒度が1μm～2000μmであり、前記粉体が最小の長さをとる方向と、最大の長さをとる方向で、その長さの比が1：5以下であることが好ましい。この場合、強いネットワークはないものの、任意の形状を作ることができる。

【0025】また、前記カーボン又はその同素体と前記金属との体積率が、前記カーボン又はその同素体が20vol%～80vol%、金属が80vol%～20vol%の範囲であることが好ましい。

【0026】また、ヒートシンク材は、前記金属が溶解した液体状態又は固液共存状態に、前記カーボン又はその同素体の粉体を混合し、鋳造成形されて構成されていてもよい。

【0027】なお、作製されたヒートシンク材の閉気孔率は12vol%以下であることが好ましい。

【0028】前記金属に、界面の濡れ性改善のための元素が添加されていることが好ましい。この添加元素としては、Te、Bi、Pb、Sn、Se、Li、Sb、Tl、Ca、Cd、Niから選択された1種以上を採用することができる。特に、Niは、カーボンを溶解しやすく含浸しやすいという効果がある。

【0029】前記金属に、前記カーボン又はその同素体との反応性を向上させるための元素を添加することが好ましい。この添加元素としては、Nb、Cr、Zr、Be、Ti、Ta、V、B、Mnから選択された1種以上を採用することができる。

【0030】前記金属に、湯流れ性を向上させるため、固相/液相の温度範囲が30℃以上、望ましくは50℃以上の元素を添加することが好ましい。これにより、含

浸の際のばらつきを低減することができるとともに、残留気孔が減少し強度の向上を図ることができる。なお、含浸圧力を上昇させても同様の効果を得ることができる。この添加元素としては、Sn、P、Si、Mgから選択された1種以上を採用することができる。また、前記金属に、前記融点を低減させるための元素を添加することが好ましい。この添加元素としては、例えばZnなどがある。

【0031】前記金属に、熱伝導率を向上させるための元素が添加されていることが好ましい。この場合、前記金属に、前記熱伝導率を向上させるための元素を添加し、熱処理、加工及びカーボンとの反応後、偏析等によって得られる合金の熱伝導率が10W/mK以上であるとよい。望ましくは20W/mK以上、さらに望ましくは40W/mK以上、最も望ましくは60W/mK以上であることが好ましい。

【0032】熱処理による効果は、添加元素の時効や焼鈍、加工の組合わせにより熱伝導率が向上することが知られており、この効果を利用したものである。また、カーボンとの反応により銅、アルミ、銀中の添加元素は減少し、熱伝導率が向上することも知られている。さらに、含浸金属が凝固する際に偏析等により添加元素が表面などに析出し、全体での熱伝導率が向上することも知られているので、これらの効果も利用することができる。

【0033】前記ヒートシンク材は、前記カーボン又はその同素体の粉体と前記金属の粉体とを混合し、所定圧力下で成形することでも構成することができる。この場合、前記カーボン又はその同素体の粉体と前記金属の粉体の平均粉末粒度が1 μ m～500 μ mであることが好ましい。

【0034】前記ヒートシンク材は、前記カーボン又はその同素体の粉碎裁断材と前記金属の粉体とを混合し、所定温度、所定圧力下で成形することでも構成することができる。

【0035】そして、上述のように成形によってヒートシンク材を構成する場合においては、前記カーボン又はその同素体と前記金属との体積率が、前記カーボン又はその同素体が20vol%～60vol%の範囲、金属が80vol%～40vol%の範囲であることが好ましい。これにより、熱伝導率が200W/mK以上であって、かつ、熱膨張率が $3\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ～ $14\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるヒートシンク材を得ることができる。

【0036】この場合、前記カーボン又はその同素体に、成形後の再焼成を可能とする添加物を添加させることが好ましい。この添加物としては、SiC及び/又はSiを挙げることができる。

【0037】前記金属に、界面の濡れ性改善のための低融点金属が添加されていることが好ましい。この低融点金属としては、Te、Bi、Pb、Sn、Se、Li、

Sb、Se、Tl、Ca、Cd、Niから選択された1種以上を採用することができる。

【0038】前記金属に、前記カーボン又はその同素体との反応性を向上させるための元素が添加されていることが好ましい。この添加元素としては、Nb、Cr、Zr、Be、Ti、Ta、V、B、Mnから選択された1種以上を採用することができる。

【0039】前記金属に、湯流れ性を向上させるため、固相/液相の温度範囲が30 $^{\circ}\text{C}$ 以上の元素、望ましくは50 $^{\circ}\text{C}$ 以上の元素を添加することが好ましい。これにより、含浸の際のばらつきを低減することができる。なお、含浸圧力を上昇させても同様の効果を得ることができる。この添加元素としては、Sn、P、Si、Mgから選択された1種以上を採用することができる。また、前記金属に、前記融点を低減させるための元素を添加することが好ましい。この添加元素としては、例えばZnなどがある。

【0040】そして、少なくとも前記カーボン又はその同素体と添加元素との反応によって、前記カーボン又はその同素体の表面にカーバイド層が形成されていてもよい。この場合、前記添加元素としては、Ti、W、Mo、Nb、Cr、Zr、Be、Ta、V、B、Mnから選択された1種以上を採用することができる。

【0041】また、前記カーボン又はその同素体と組み合わせられる前記金属としては、導電率の高い金属であるCu、Al、Agから選択された少なくとも1種を採用することができる。

【0042】また、本発明は、最小の熱伝導率をとる方向と、最大の熱伝導率をとる方向で、熱伝導率の比が1:5以下である。これにより、熱伝導率がほとんど等方性に近い特性を有するため、熱の拡散が良好でありヒートシンクとして使用する場合に好適である。また、設置方向をいちいち考慮する必要がなく、実装面で有利となる。

【0043】次に、本発明に係るヒートシンク材の製造方法は、カーボン又はその同素体を焼成してネットワーク化することによって多孔質焼結体を作製する焼成工程と、金属を前記多孔質焼結体中に含浸させる含浸工程と、少なくとも前記金属が含浸された前記多孔質焼結体を冷却する冷却工程とを有することを特徴とする。

【0044】これにより、セラミック基板や半導体基板（シリコン、GaAs）等と熱膨張率がほぼ一致し、熱伝導性のよいヒートシンク材を容易に製造することができる。高品質のヒートシンクの生産性を向上させることができる。

【0045】そして、前記焼成工程は、容器内に前記カーボン又はその同素体を入れ、該容器内を加熱することにより、前記カーボン又はその同素体による多孔質焼結体を作製するようにしてもよい。

【0046】また、前記含浸工程は、容器内に入れられた前記金属の溶湯に前記多孔質焼結体を浸漬し、前記容器内に含浸用ガスを導入して前記容器内を加圧することにより、前記溶湯を多孔質焼結体中に含浸させるようにしてもよい。この場合、前記加圧力としては、前記カーボン又はその同素体による多孔質焼結体の圧縮強度の4～5倍以下であること、あるいは1.01～202MPa（10～2000気圧）であることが好ましい。この場合の冷却工程として、前記容器内の前記含浸用ガスを抜き、速やかに冷却用ガスを導入して前記容器内を冷却するようにしてもよい。

【0047】他の製造方法としては、次の方法が挙げられる。即ち、前記焼成工程として、ケース内に前記カーボン又はその同素体を収容する工程と、前記ケース内を予熱して、前記カーボン又はその同素体による多孔質焼結体を作製する工程とを有し、前記含浸工程として、プレス機の金型に前記ケースを収容する工程と、前記ケース内に前記金属の溶湯を注湯する工程と、前記プレス機のパンチで前記溶湯を押し下げ圧入して前記ケース内の前記多孔質焼結体中に前記溶湯を含浸させる工程とを有することである。

【0048】この場合、前記パンチによる圧入時の圧力を、前記カーボン又はその同素体による多孔質焼結体の圧縮強度の4～5倍以下であること、あるいは1.01～202MPa（10～2000気圧）とすることが好ましい。また、前記金型として、前記多孔質焼結体に残存するガスを抜くためのガス抜き孔、又は、ガスを抜くための隙間部が形成された金型を用いることが好ましい。

【0049】また、前記冷却工程は、前記多孔質焼結体に前記金属が含浸された前記ヒートシンク材を、冷却ガスの吹き付けもしくは冷却水が供給されている冷却ゾーン又は冷却用金型で冷却するようにしてもよい。

【0050】本発明に係るヒートシンク材の製造方法は、カーボン又はその同素体の粉体に、水又は結合材を混合する工程と、前記混合物を所定圧力下で予備成形体を成形する工程と、金属を前記予備成形体中に含浸させる含浸工程とを有することを特徴とする。

【0051】また、本発明に係るヒートシンク材の製造方法は、金属が溶解した液体状態又は固液共存状態に、カーボン又はその同素体の粉体を混合する工程と、前記混合物を鑄造成形する工程とを有することを特徴とする。

【0052】また、本発明に係るヒートシンク材の製造方法は、カーボン又はその同素体の粉体と金属の粉体とを混合する混合工程と、前記混合物をホットプレス機の金型内に入れ、所定温度、所定圧力下で成形してヒートシンク材を作製する加圧工程とを有することを特徴とする。

【0053】また、本発明に係るヒートシンク材の製造

方法は、カーボン又はその同素体の粉体と金属の粉体とを混合する混合工程と、前記混合物を予備成形して予備成形体とする予備成形工程と、前記予備成形体をホットプレス機の金型内に入れ、所定温度、所定圧力下で成形してヒートシンク材を作製する加圧工程とを有することを特徴とする。

【0054】また、本発明に係るヒートシンク材の製造方法は、カーボン又はその同素体の粉碎裁断材料と金属の粉体とを混合し、予備成形して混合物を作製する混合工程と、前記混合物をホットプレス機の金型内に入れ、所定温度、所定圧力下で成形してヒートシンク材を作製する加圧工程とを有することを特徴とする。

【0055】また、本発明に係るヒートシンク材の製造方法は、カーボン又はその同素体の粉碎裁断材料と金属の粉体とを混合する混合工程と、前記混合物を予備成形して予備成形体とする予備成形工程と、前記予備成形体をホットプレス機の金型内に入れ、所定温度、所定圧力下で成形してヒートシンク材を作製する加圧工程とを有することを特徴とする。

【0056】これらの製造方法において、前記所定温度は、前記金属における融点の -10°C ～ -50°C が好ましく、前記所定圧力は、10.13～101.32MPa（100～1000気圧）が好ましい。

【0057】また、これらの製造方法において、加圧工程後に、前記ヒートシンク材を前記金属における融点以上まで加熱するようにしてもよい。

【0058】さらに、前記金属は、Cu、Al、Agから選択された少なくとも1種であってもよい。

【0059】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係るヒートシンク材及びその製造方法の実施の形態例を図1～図40を参照しながら説明する。

【0060】第1の実施の形態に係るヒートシンク材10Aは、図1に示すように、カーボン又はその同素体を焼成してネットワーク化することによって得られる多孔質焼結体12に金属14が含浸されて構成されている。

【0061】この場合、前記カーボン又はその同素体として、熱伝導率が $100\text{W}/\text{mK}$ 以上、望ましくは $150\text{W}/\text{mK}$ 以上（気孔がない状態での推定値）、さらに望ましくは $200\text{W}/\text{mK}$ 以上（気孔がない状態での推定値）のものを使用することが好ましい。

【0062】本例では、熱伝導率が $100\text{W}/\text{mK}$ 以上のグラファイトで構成された多孔質焼結体12の開気孔部に銅を含浸させたヒートシンク材を示す。含浸する金属14としては、銅のほかに、アルミニウムや銀を使用することができる。

【0063】また、多孔質焼結体12と金属14との体積率は、多孔質焼結体12が $50\text{vol}\% \sim 80\text{vol}\%$ 、金属14が $50\text{vol}\% \sim 20\text{vol}\%$ の範囲としている。これにより、直交する3軸方向の平均又はいず

れかの軸方向の熱伝導率が $180 \sim 220 \text{ W/mK}$ 以上であって、かつ、熱膨張率が $1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \sim 10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であるヒートシンク材を得ることができる。

【0064】前記多孔質焼結体12の気孔率としては、 $10 \text{ vol}\% \sim 50 \text{ vol}\%$ であることが望ましい。気孔率が $10 \text{ vol}\%$ 以下では、直交する3軸方向の平均又はいずれかの軸方向の 180 W/mK (室温)の熱伝導率を得ることができず、 $50 \text{ vol}\%$ を超えると多孔質焼結体12の強度が低下し、熱膨張率を $15.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下に抑えることができないからである。

【0065】前記多孔質焼結体12の平均開気孔径 (気孔径) の値としては、 $0.1 \sim 200 \mu\text{m}$ が望ましい。前記気孔径が $0.1 \mu\text{m}$ 未満であると、開気孔内に金属14を含浸することが困難になり、熱伝導率が低下する。一方、前記気孔径が $200 \mu\text{m}$ を超えると、多孔質焼結体12の強度が低下し、熱膨張率を低く抑えることができない。

【0066】前記多孔質焼結体12の平均開気孔に関する分布 (気孔分布) としては、 $0.5 \sim 50 \mu\text{m}$ に $90 \text{ vol}\%$ 以上分布することが好ましい。 $0.5 \sim 50 \mu\text{m}$ の気孔が $90 \text{ vol}\%$ 以上分布していない場合は、金属14が含浸していない開気孔が増え、熱伝導率が低下する可能性がある。

【0067】また、多孔質焼結体12に金属14を含浸して得たヒートシンク材10Aの開気孔率としては、 $12 \text{ vol}\%$ 以下であることが好ましい。 $5 \text{ vol}\%$ を超えると、熱伝導率が低下する可能性があるからである。

【0068】なお、前記気孔率、気孔径及び気孔分布の測定には、株式会社島津製作所製の自動ポロシメータ (商品名「オートポア9200」) を使用した。

【0069】この第1の実施の形態に係るヒートシンク材10Aにおいて、前記グラファイトに、該グラファイトを焼成した際の閉気孔率を低減させる添加物を添加させることが好ましい。この添加物としては、SiC及び/又はSiを挙げることができる。これにより、焼成時の閉気孔 (クロズドポア) を減少させることができ、多孔質焼結体12に対する金属14の含浸率を向上させることができる。

【0070】また、グラファイト中に、該グラファイトと反応する元素を添加するようにしてもよい。この添加元素としては、Ti、W、Mo、Nb、Cr、Zr、Be、Ta、V、B、Mnから選択された1種以上を挙げることができる。これにより、グラファイトの焼成時に、該グラファイトの表面 (開気孔の表面を含む) に反応層 (カーバイド層) が形成され、グラファイトの開気孔に含浸される金属14との濡れ性が改善し、低圧での含浸が可能になり、しかも、微細開気孔への含浸も可能になる。

【0071】一方、多孔質焼結体12に含浸される金属14に、Te、Bi、Pb、Sn、Se、Li、Sb、

Tl、Ca、Cd、Niから選択された1種以上を添加することが好ましい。これにより、多孔質焼結体12と金属14との界面の濡れ性が改善され、多孔質焼結体12の開気孔内に金属14が入り易くなる。特に、Niは、カーボンを溶解しやすく含浸しやすいという効果がある。

【0072】また、多孔質焼結体12に含浸される金属14に、Nb、Cr、Zr、Be、Ti、Ta、V、B、Mnから選択された1種以上を添加することが好ましい。これにより、グラファイトと金属との反応性が向上し、開気孔内においてグラファイトと金属とが密着し易くなり、閉気孔の発生を抑制することができる。

【0073】また、多孔質焼結体12に含浸される金属14に、湯流れ性を向上させるとともに残留気孔が減少するため、固相/液相の温度範囲が 30°C 以上、望ましくは 50°C 以上の元素、例えばSn、P、Si、Mgから選択された1種以上を添加することが好ましい。これにより、含浸の際のばらつきを低減することができる。また、前記金属14に、融点を低減させるための元素を添加することが好ましい。この添加元素としては、例えばZnなどがある。

【0074】次に、この第1の実施の形態に係るヒートシンク材10Aを製造するためのいくつかの方法を図2A～図8を参照しながら説明する。

【0075】第1の実施の形態に係るヒートシンク材10Aを製造するための第1及び第2の製造方法は共に、グラファイトを焼成してネットワーク化することによって多孔質焼結体12を作製する焼成工程と、金属14を前記多孔質焼結体12中に含浸させる含浸工程とを有する。

【0076】そして、第1の製造方法は、具体的には図2A及び図2Bにその一例を示すように、高压容器30を使用することによって行われる。この高压容器30は、角筒状の筐体32における両側板34及び36のほぼ中央部分にそれぞれ回転軸38が設けられて、該回転軸38を中心として筐体32自体が回転できるようになっている。

【0077】筐体32内には、耐火容器40と該耐火容器40を加熱するためのヒータ42が設けられている。耐火容器40は、中空部44を有する角筒状の形状を有し、1つの側面における高さ方向中央部分に中空部44に連通する開口46が設けられている。中空部44のうち、開口46を中心として一方の中空部 (以下、第1室44aと記す) には、含浸材料である金属14の塊、あるいは金属14の溶融金属が收容されるようになっている。

【0078】他方の中空部 (以下、第2室44bと記す) は、被含浸試料である多孔質焼結体12が複数取り

付けられるようになっており、第2室44bが上方に位置しても、多孔質焼結体12が落下しないように多孔質焼結体12の支持機構が設けられている。なお、ヒータ42は、300MPaの高圧力下でも破壊されない構造とされている。

【0079】また、前記高圧容器30には、真空引きのための吸気管48と、高圧力付与のためのガス及び冷却用ガスの導入管50及び導出管52が設けられている。

【0080】次に、前記高圧容器30を用いた第1の製造方法について図3を参照しながら説明する。

【0081】まず、ステップS1において、グラファイトを棒状に成形する工程、ピッチ（コールタール的一种）を含浸させる工程及び加熱焼成する工程を経てグラファイトによる多孔質焼結体12を作製する。

【0082】グラファイトを棒状に成形するには、グラファイト粉体にピッチを混合して、150℃程度の雰囲気中で押しだし成形を行って棒状（φ100～φ600、長さ3000mm程度）のグラファイトを得る。このままの状態のグラファイトは、気孔が多くしかも熱伝導率が低い。

【0083】次に、グラファイトの気孔を減少させるために真空脱気を行い、その真空中でピッチを含浸させる。そして、1000℃程度で焼成しさらにピッチを含浸する工程を3回程度繰り返す。

【0084】そして、熱伝導率を向上させるために3000℃程度の炉の中でグラファイトを加熱焼成する。このとき、グラファイトが燃焼することを防止するために炉をカーボン粉末でカバーするとともに、グラファイト自身もカーボン粉末でカバーしておく。また、このグラファイトを加熱する工程は、グラファイトに直接通電することにより加熱焼成してもよい。

【0085】このようにすることで、多孔質焼結体12が得られるが、最終製品の形状によってはさらに予備加工をしておくことが望ましい。

【0086】その後、ステップS2において、高圧容器30を初期状態にして、高圧容器30内に設けられている耐火容器40の第1室44aを下方に位置させる。

【0087】その後、多孔質焼結体12と金属14の塊を高圧容器30の耐火容器40内に入れ、金属14の塊を耐火容器40の第1室44a内に配置し、多孔質焼結体12を第2室44bにセットする（ステップS3）。このとき予め多孔質焼結体12を予熱しておくことが好ましい。予熱を行うには、多孔質焼結体12をカーボンケースに収納するか又は断熱材にて覆った状態で予熱を行い、所定の温度に達したらケースに収納するか又は断熱材にて覆った状態のままで上記のとおり第2室44bにセットする。

【0088】その後、高圧容器30（及び耐火容器40）を密封した後、吸気管48を通じて高圧容器30内の真空引きを行って該高圧容器30内を負圧状態にする

（ステップS4）。

【0089】その後、ヒータ42に通電して第1室44aの金属14を加熱溶解する（ステップS5）。以下の説明では、加熱溶解された金属14を便宜的に「熔融金属14」とも記す。

【0090】その後、第1室44a内の熔融金属14が所定温度に達した段階で、高圧容器30を180度転回させる（ステップS6）。この転回動作によって、第1室44aが上方に位置することから、第1室44a内の熔融金属14は、自重によって下方に位置する第2室44b内に落下し、この段階で、熔融金属14に多孔質焼結体12が浸された状態となる。

【0091】その後、ガス導入管50を通じて高圧容器30内に含浸用ガスを導入して、該高圧容器30内を加圧する（ステップS7）。この加圧処理によって、前記熔融金属14は多孔質焼結体12の開気孔部中に含浸することとなる。

【0092】この含浸工程が終了した時点で直ちに冷却工程に移行する。この冷却工程は、まず、前記高圧容器30を再び180度転回させる（ステップS8）。この転回動作によって、第1室44aが下方に位置することから、第2室44b内の熔融金属14は、再び第1室44a内に落下することになる。

【0093】前記ステップS7での加圧処理（含浸処理）によって、熔融金属14の一部が多孔質焼結体12の開気孔中に含浸されていることから、下方に位置する第1室44aに落下する熔融金属14は多孔質焼結体12に含浸されなかった残存熔融金属である。残存熔融金属が第1室44a内に落下した段階で、第2室44bには熔融金属14が含浸された多孔質焼結体12が残ることとなる。

【0094】その後、ガス導出管52を通じて高圧容器30内の含浸用ガスを排気すると同時に、ガス導入管50を通じて冷却用ガスを高圧容器30内に導入する（ステップS9）。この含浸用ガスの排気と冷却用ガスの導入によって、冷却用ガスが高圧容器30内を満遍なく循環し、高圧容器30は急速に冷却される。この速やかな冷却によって、前記多孔質焼結体12に含浸された熔融金属14が、急速に金属14の塊に固化して体積が膨張することから、含浸された金属14は多孔質焼結体12に強固に保持される。

【0095】他の冷却工程としては、図3において一点鎖線の枠内に示すように、前記ステップS8での処理が終了した段階で、高圧容器30、あるいは熔融金属14が含浸された多孔質焼結体12を冷却ゾーンに搬送し、冷却ゾーンに設置されている冷やし金に接触させる方法がある（ステップS10参照）。

【0096】この冷やし金への接触によって多孔質焼結体12は急速に冷却されることになる。この冷却過程においては、多孔質焼結体12に冷却ガスを吹き付けた

り、冷やし金を水冷しながら行うようにしてもよく、特に、押湯効果を考慮して冷却した方が好ましい。

【0097】このように、第1の製造方法の各工程を踏むことにより、グラファイトによる多孔質焼結体12への金属14の含浸処理を容易に行うことができ、しかも、多孔質焼結体12への金属14の含浸率を向上させることができ、直交する3軸方向の平均又はいずれかの軸方向の熱伝導率が $180\sim 220\text{ W/mK}$ 以上であって、かつ、熱膨張率が $1\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}\sim 10\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるヒートシンク材10Aを容易に得ることができる。

【0098】ただし、後述する多孔質焼結体にSiCを採用する場合は、室温から 200°C までの平均熱膨張率が $4.0\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}\sim 9.0\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ で、かつ直交する3軸方向の平均又はいずれかの軸方向の熱伝導率が 160 W/mK （室温）以上、好ましくは 180 W/mK 以上であるヒートシンク材を得ることができる。

【0099】前記ステップS5において、ヒータ42に通電して第1室44aの金属14を加熱溶解する場合に、ステップS6に移行する所定温度（加熱温度）は、金属14の融点より $30^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ 高い温度がよく、好ましくは前記融点より $50^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 高い温度が望ましい。この場合、高圧容器30内を $1\times 10^{-3}\text{ Torr}$ 以下の真空中にしておくことが好ましい。

【0100】また、前記ステップS7において、高圧容器30内に含浸用ガスを導入することによって高圧容器30に付与する圧力としては、 0.98 MPa 以上、 202 MPa 以下とする。この場合、 4.9 MPa 以上、 202 MPa 以下が好ましく、より好ましくは 9.8 MPa 以上、 202 MPa 以下であるとよい。

【0101】この圧力は、高圧である方が含浸率の向上、冷却能力の向上の観点から好ましい。しかし、圧力が高すぎるとグラファイトの破損を生じやすくなり、また、高圧に耐えうる設備のコストが高くなるので、これらの要素を勘案して圧力を選択する。

【0102】また、高圧容器30への圧力の付与時間は1秒以上、60秒以下がよく、望ましくは1秒以上、30秒以下が好ましい。

【0103】なお、多孔質焼結体20の気孔としては、上述したように、平均直径が $0.5\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ のものが90vol%以上存在し、かつ、気孔率が10vol%～50vol%であることが望ましい。

【0104】ただし、後述する多孔質焼結体にSiCを採用する場合は、平均直径が $5\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ のものが90%以上存在し、かつ、気孔率が20vol%～70vol%であることが望ましい。

【0105】一方、冷却工程における冷却速度は、含浸時の温度から 800°C までの期間において、 $-400^{\circ}\text{C}/\text{時間}$ 以上とすることが好ましく、より好ましくは $-800^{\circ}\text{C}/\text{時間}$ 以上が望ましい。

【0106】前記ステップS7において、高圧容器30に付与する圧力は、多孔質焼結体12の開気孔部に金属14を完全に含浸させるために必要な圧力である。この場合、多孔質焼結体12に金属14が含浸されていない開気孔が残存すると、熱伝導性を著しく阻害するため、高い圧力を付与することが必要となる。

【0107】この圧力はその概略をワッシュバーン（Washburn）の式によって推定できるが、気孔径が小さいほど大きな力を必要とする。この式に従えば、 $0.1\mu\text{m}$ φのとき 39.2 MPa 、 $1.0\mu\text{m}$ φのとき 3.92 MPa 、 $10\mu\text{m}$ φのとき 0.392 MPa の圧力が適当である。しかしながら、実際は平均気孔径が $0.1\mu\text{m}$ φの材料は $0.01\mu\text{m}$ φ以下の気孔も存在する（図31及び図32参照）ためにより大きい圧力が必要になる。具体的には $0.01\mu\text{m}$ φには 392 MPa が必要である。

【0108】なお、グラファイトへの添加元素や金属への添加元素の好ましい例については、すでに述べたのでここではその説明を省略する。

【0109】次に、第1の製造方法のいくつかの変形例を図4及び図5を参照しながら説明する。

【0110】第1の変形例は、図4に示すように、まず、グラファイトを焼成して、グラファイトによる多孔質焼結体12を作製する（ステップS101）。高圧容器30を初期状態にして、高圧容器30内に設けられている耐火容器40の第1室44aを下方に位置させる（ステップS102）。

【0111】その後、多孔質焼結体12を第2室44bにセットし、予め熔融された金属（熔融金属）14を第1室44a内に流し込む（ステップS103）。

【0112】その後、第1室44a内の熔融金属14が所定温度に達した段階で、高圧容器30を180度転回させる（ステップS104）。この転回動作によって、第1室44a内の熔融金属14が下方に位置する第2室44bに落下し、この段階で、熔融金属14に多孔質焼結体12が含浸された状態となる。

【0113】その後、ガス導入管50を通じて高圧容器30内に含浸用ガスを導入して、該高圧容器30内を加圧する（ステップS105）。この加圧処理によって、前記熔融金属14は多孔質焼結体12の開気孔部に含浸することとなる。

【0114】次に、第2の変形例について図5を参照しながら説明する。この第2の変形例に係る含浸工程は、高圧容器30内に設置されている耐火容器40の内部中央部分に、多孔質セラミック材からなる仕切板（図示せず）が設けられた高圧容器30を用いる。耐火容器40内は、前記仕切板によって第1室44aと第2室44bとに仕切られることになる。

【0115】前記仕切板としては、気孔率が40vol%～90vol%で、かつ気孔径が $0.5\text{ mm}\sim 3.0$

mmである多孔質セラミック材を用いることが望ましく、より好ましくは気孔率が70vol%~85vol%であり、かつ気孔径が1.0mm~2.0mmである多孔質セラミック材を用いることが望ましい。

【0116】そして、この第2の変形例では、図5に示すように、まず、グラファイトを焼成して、グラファイトによる多孔質焼結体12を作製する(ステップS201)。高压容器30を初期状態にして、高压容器30内に設けられている耐火容器40の第1室44aを下方に、第2室44bを上方に位置させる(ステップS202)。

【0117】その後、多孔質焼結体12と金属14の塊を高压容器30の耐火容器40内に入れ、金属14の塊を上方に位置する第2室44b内に配置し、多孔質焼結体12を下方に位置する第1室44aにセットする(ステップS203)。

【0118】その後、高压容器30(及び耐火容器40)を密封した後、吸気管48を通じて高压容器30内の真空引きを行って該高压容器30内を負圧状態にする(ステップS204)。

【0119】その後、ヒータ42に通電して第2室44bの金属14を加熱溶解する(ステップS205)。前記熔融金属14が所定温度に達した段階で、ガス導入管50を通じて高压容器30内に含浸用ガスを導入して、該高压容器30内を加圧する(ステップS206)。この加圧処理によって、上方に位置する第2室44b内の熔融金属14は、仕切板を通過し、下方に位置する第1室44a内の多孔質焼結体12の開気孔部中に含浸されることになる。

【0120】次に、第2の製造方法について図6~図8を参照しながら説明する。この第2の製造方法では、図6に示すように、グラファイトを焼成して多孔質焼結体12を作製するための炉60と、図7に示すように、多孔質焼結体12に金属14を含浸させるためのプレス機62が使用される。

【0121】炉60は、図6に示すように、一般にはグラファイトを黒鉛化するために用いられるものであり、その内部にケース70が収容可能な空間72と、該空間72内に収容されたケース70を加熱するためのヒータ74が設けられている。ケース70はグラファイト、セラミックス、セラペーパー(アルミナ等のセラミックスから構成される断熱材)等の材料から構成される。そして、このケース70には、グラファイトが収容される。

【0122】プレス機62は、図7に示すように、上部開口の凹部80を有する金型82と、凹部80内に挿通可能とされ、かつ、凹部80内の内容物を押し下げ圧入するパンチ84とを有する。

【0123】次に、前記炉60とプレス機62を用いた第2の製造方法について図8を参照しながら説明する。

【0124】まず、ケース70内にグラファイトを入

れ、該ケース70を炉60内に収容する(ステップS301)。炉60内の雰囲気を加熱して、グラファイトを焼成し多孔質焼結体12を作製する(ステップS302)。

【0125】また、この工程においては、グラファイトに対して電流を通電することにより3000℃程度まで加熱して、多孔質焼結体12を作製するようにしてもよい。

【0126】その後、炉60から多孔質焼結体12をケース70ごと取り出して、プレス機62の凹部80内に多孔質焼結体12をケース70ごと収容する(ステップS303)。

【0127】次に、ケース70内に金属14の溶湯86を注湯した後(ステップS304)、パンチ84を凹部80内に挿通し、ケース70内の前記溶湯86を押し下げ圧入する(ステップS305)。このパンチ84の押圧処理によって、金属14の溶湯86は、多孔質焼結体12の開気孔部中に含浸することとなる。

【0128】上述の第2の製造方法において、前記パンチ84による圧入時の圧力を1.01~202MPa(10~2000気圧)とすることが好ましい。また、図7に示すように、ケース70の底部や金型82の底部に、多孔質焼結体12に残存するガスを抜くためのガス抜き孔88及び90やガスを抜くための隙間部を形成するようにしてもよい。この場合、パンチ84の圧入時に、多孔質焼結体12に残存するガスがガス抜き孔88及び90を通して抜けるため、開気孔への溶湯86の含浸がスムーズに行われることになる。

【0129】このように、第2の製造方法の各工程を踏むことにより、グラファイトによる多孔質焼結体12への金属14の含浸処理を容易に行うことができ、しかも、多孔質焼結体12への金属14の含浸率を向上させることができ、直交する3軸方向の平均又はいずれかの軸方向の熱伝導率が180~220W/mK以上であって、かつ、熱膨張率が $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \sim 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるヒートシンク材10Aを容易に得ることができる。

【0130】上述の炉60の代わりに、予熱を利用する炉を使用してもよい。この場合、予め圧粉した材料またはグラファイトによる多孔質焼結体12を予熱する。この処理によってネットワーク化しているグラファイト(又は後述のSiC)に対して金属14が含浸しやすくなる。予熱の温度は、溶湯86と同程度の温度まで予熱することが望ましい。具体的には、溶湯86が1200℃程度であるならば、グラファイトの予熱温度は1000℃~1400℃が望ましい。

【0131】次に、第2の実施の形態に係るヒートシンク材10Bについて図9を参照しながら説明する。

【0132】第2の実施の形態に係るヒートシンク材10Bは、図9に示すように、カーボン又はその同素体の

粉体 12a と金属 14 の粉体 14a とを混合し、所定温度、所定圧力下で成形されて構成されている。

【0133】前記カーボン又はその同素体としては、熱伝導率が 100W/mK 以上、望ましくは 150W/mK 以上（気孔がない状態での推定値）、さらに望ましくは 200W/mK 以上（気孔がない状態での推定値）のものを使用することが好ましい。特に、この第 2 の実施の形態では、グラファイトのほかに、ダイヤモンドを使用することができる。本例では、熱伝導率が 100W/mK 以上のグラファイトの粉体と銅の粉体を混合し、成形して構成されたヒートシンク材 10B を示す。前記金属 14 としては、銅のほかに、アルミニウムや銀を使用することができる。

【0134】また、この第 2 の実施の形態に係るヒートシンク材 10B は、前記カーボン又はその同素体の粉碎裁断材（例えば炭素繊維の粉碎裁断材）と前記金属 14 の粉体 14a とを混合し、所定温度、所定圧力下で成形して構成することもできる。

【0135】そして、前記所定温度としては、プレス型内での成形を考慮すると、前記金属 14 における融点の $-10^\circ\text{C} \sim -50^\circ\text{C}$ が好ましく、前記所定圧力としては、 $10.13 \sim 101.32\text{MPa}$ ($100 \sim 1000$ 気圧) が好ましい。

【0136】また、前記カーボン又はその同素体の粉体 12a と、金属 14 の粉体 14a の平均粉末粒度は、 $1\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ であることが好ましい。カーボン又はその同素体と金属 14 との体積率は、カーボン又はその同素体が $20\text{vol}\% \sim 60\text{vol}\%$ 、金属 14 が $80\text{vol}\% \sim 40\text{vol}\%$ の範囲としている。これにより、直交する 3 軸方向の平均又はいずれかの軸方向の熱伝導率が $200 \sim 350\text{W/mK}$ 以上であって、かつ、熱膨張率が $3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C} \sim 14 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ であるヒートシンク材 10B を得ることができる。

【0137】この第 2 の実施の形態に係るヒートシンク材 10B において、カーボン又はその同素体に、成形後の再焼成を可能とする添加物を添加させることが好ましい。この添加物としては、SiC 及び/又は Si を挙げることができる。これにより、成形後において、前記金属 14 の融点以上の温度での再焼成が可能となる。この場合、成形後に生じた粒同士が前記再焼成によって結合することになるため、熱伝導を阻害する粒界をほとんどなくことができ、ヒートシンク材 10B の熱伝導率の向上を図ることができる。

【0138】また、カーボン又はその同素体中に、該カーボン又はその同素体と反応する元素を添加するようにしてもよい。この添加元素としては、Ti、W、Mo、Nb、Cr、Zr、Be、Ta、V、B、Mn から選択された 1 種以上を挙げることができる。これにより、成形時や再焼成時に、カーボン又はその同素体の表面に反応層（カーバイド層）が形成され、ヒートシンク材 10

B の表面における粒同士の結合を向上させることができる。

【0139】一方、前記金属 14 には、低融点金属、例えば Te、Bi、Pb、Sn、Se、Li、Sb、Tl、Ca、Cd、Ni から選択された 1 種以上を添加することが好ましい。これにより、カーボン又はその同素体と金属 14 との界面の濡れ性が改善され、熱伝導を阻害する粒界の発生を抑えることができる。なお、熱伝導の観点から、前記低融点金属は前記金属 14 に固溶しないことが好ましい。

【0140】また、前記金属 14 に、Nb、Cr、Zr、Be、Ti、Ta、V、B、Mn から選択された 1 種以上を添加することが好ましい。これにより、カーボン又はその同素体と金属 14 との反応性が向上し、この場合も、成形時における粒界の発生を抑えることができる。

【0141】また、前記金属 14 に、湯流れ性を向上させるとともに残留気孔を減少させるため、固相/液相の温度範囲が 30°C 以上、望ましくは 50°C 以上の元素、例えば Sn、P、Si、Mg から選択された 1 種以上を添加することが好ましい。これにより、含浸の際のばらつきを低減することができるとともに、残留気孔が減少し強度の向上を図ることができる。なお、含浸圧力を上昇させても同様の効果を得ることができる。

【0142】また、前記金属 14 に、融点を低減させるための元素を添加することが好ましい。この添加元素としては、例えば Zn などがある。

【0143】次に、この第 2 の実施の形態に係るヒートシンク材 10B を製造するためのいくつかの方法（第 3 及び第 4 の製造方法）を図 10～図 14 を参照しながら説明する。

【0144】まず、第 3 の製造方法は、具体的には図 10 及び図 11 にその一例を示すように、予備成形機 100（図 10 参照）と、ホットプレス機 102（図 11 参照）を使用することによって行われる。

【0145】予備成形機 100 は、図 10 に示すように、上部開口の凹部 110 を有する金型 112 と、凹部 110 内に挿通可能とされ、かつ、凹部 110 内の内容物を押し下げ圧入するパンチ 114 とを有する。ケース 70 には、カーボン又はその同素体の粉体 12a と金属 14 の粉体 14a とを混合したもの、即ち、混合物 104 が収容される。

【0146】ホットプレス機 102 は、図 11 に示すように、筒状の筐体 120 内に、基台を兼ねる下パンチ 122 と、該下パンチ 122 上に固定された上面開口の黒鉛製の耐火容器 124 と、該耐火容器 124 内に上方から進退自在とされた上パンチ 126 と、前記耐火容器 124 を加熱するためのヒータ 128 が設けられている。耐火容器 124 には、前記予備成形機 100 で成形された混合物 104 の予備成形体 106 が収容される。な

お、このホットプレス機102には、真空引きのための吸気管130が設けられている。

【0147】下パンチ122の内部には、耐火容器124内を加熱するための加熱用流体や耐火容器124内を冷却するための冷却用流体を流通させる通路132が設けられている。

【0148】そして、第3の製造方法は、図12に示す工程を踏むことにより行われる。まず、ケース70内にカーボン又はその同素体の粉体12aと金属14の粉体14aとを入れて混合して混合物104を得た後（ステップS401）、該混合物104が入ったケース70を予備成形機100における金型112の凹部110内に収容する（ステップS402）。その後、パンチ114を凹部110内に圧入して混合物104を予備成形して予備成形体106を成形する（ステップS403）。

【0149】次に、金型112から予備成形体106を取り出して、該予備成形体106をホットプレス機102における耐火容器124内に収容する（ステップS404）。耐火容器124を密封した後、吸気管130を通じて耐火容器124内の真空引きを行って該耐火容器124内を負圧状態にする（ステップS405）。その後、ヒータ128に通電して、耐火容器124内の温度を金属14の融点の -10°C 〜 -50°C にする（ステップS406）。

【0150】所定温度に達した段階で、上パンチ126を下方に移動させて、予備成形体106を加圧してヒートシンク材10Bを得る（ステップS407）。その後、加工工程等を経ることによって実際のヒートシンク材10Bとして使用される。但し、カーボン又はその同素体と金属14との結合力を高める元素が添加されている場合には、前記加圧後に、金属14の融点以上まで加熱してもよい。

【0151】なお、カーボン又はその同素体への添加元素や金属14への添加元素の好ましい例については、すでに述べたのでここではその詳細な説明を省略する。

【0152】このように、第3の製造方法の各工程を踏むことにより、直交する3軸方向の平均又はいずれかの軸方向の熱伝導率が $200\sim 350\text{W/mK}$ 以上であって、かつ、熱膨張率が $3\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}\sim 14\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるヒートシンク材10Bを容易に得ることができる。

【0153】次に、第4の製造方法について図13及び図14を参照しながら説明する。この第4の製造方法では、図14に示すように、予備成形機100は使用せず、ホットプレス機102のみを使用することによって行われる。

【0154】即ち、図13に示すように、まず、ケース70内にカーボン又はその同素体の粉体12aと金属14の粉体14aとを入れて混合して混合物104を得た後（ステップS501）、ケース70内の混合物104

を直接ホットプレス機102における耐火容器124内に収容する（ステップS502）。耐火容器124を密封した後、吸気管130を通じて耐火容器124内の真空引きを行って該耐火容器124内を負圧状態にする（ステップS503）。その後、ヒータ128に通電して、耐火容器124内の温度を金属14の融点の -10°C 〜 -50°C にする（ステップS504）。

【0155】所定温度に達した段階で、上パンチ126を下方に移動させて、混合物104を加圧してヒートシンク材10Bを得る（ステップS505）。

【0156】この第4の製造方法においても、直交する3軸方向の平均又はいずれかの軸方向の熱伝導率が $200\sim 350\text{W/mK}$ 以上であって、かつ、熱膨張率が $3\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}\sim 14\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるヒートシンク材10Bを容易に得ることができる。

【0157】次に、第3の実施の形態に係るヒートシンク材10Cについて図15を参照しながら説明する。

【0158】第3の実施の形態に係るヒートシンク材10Cは、図15に示すように、カーボン又はその同素体の粉体12bとバインダー（結合体）等とを混合した混合物を加圧して予備成形体及びブロック（立方体、直方体、又は任意形状であってもよい）を成形し、さらに、このブロックに金属を含浸させて構成している。粉体12bは、第2の実施の形態で用いたカーボン又はその同素体の粉体12aと同じものでもよい。このヒートシンク材10Cは、最終形状に近い任意の形状に作ることができる。

【0159】前記カーボン又はその同素体としては、グラファイトのほかに、ダイヤモンドを使用することができる。また、金属14としては、銅のほかに、アルミニウムや銀を使用することができる。

【0160】また、前記カーボン又はその同素体の粉体12bの平均粉末粒度は、 $1\mu\text{m}\sim 2000\mu\text{m}$ であり、前記粉体12bが最小の長さをとる方向と、最大の長さをとる方向で、その長さの比が1:5以下であることが好ましい。この場合、強いネットワークはないものの、最終形状に近い任意の形状に作ることができる。従って、後工程の加工を省略することも可能である。そして、カーボン又はその同素体の粉体12bと金属14との体積率は、カーボン又はその同素体が $20\text{vol}\%\sim 80\text{vol}\%$ 、金属14が $80\text{vol}\%\sim 20\text{vol}\%$ の範囲が望ましい。

【0161】また、カーボン又はその同素体の粉体12b中に、該カーボン又はその同素体と反応するための添加元素を添加することが望ましい。この添加元素は第2の実施の形態と同様に選択すればよい。

【0162】前記金属14には、第1の実施の形態の場合と同様に各添加元素を用いることが望ましい。つまり、濡れ性改善のための添加元素、カーボン又はその同素体と金属14との反応性を向上させるための添加元

素、湯流れ性を向上させるための添加元素、融点を低減させるための添加元素などである。

【0163】次に、第3の実施の形態の第5の製造方法について図16を参照しながら説明する。この第5の製造方法では、まず、カーボン又はその同素体の粉体12bに水、バインダー（結合材）を混合させて混合物を用意する（ステップS601）。

【0164】そして、その混合物を所定圧力で加圧して予備成形体を成形する（ステップS602）。加圧装置としてはプレス機62（図7参照）又は予備成形機100（図10参照）を用いるとよい。

【0165】次に、得られた予備成形体に熔融金属14を含浸しやすくするために予熱処理を行う（ステップS603）。この予熱温度は、例えば、熔融金属14が1200℃程度であるならば、グラファイトの予熱温度は1000℃～1400℃が望ましい。この予熱処理を行うことで、ステップS601において用いたバインダーを除去することもできる。

【0166】さらに、ステップS604において、予備成形体を焼成してブロックを成形する。焼成する方法は第1の実施の形態と同様に行う。

【0167】そして、予備成形体に熔融金属14を含浸させる（ステップS605）。この含浸工程は、第1の実施の形態で示した各含浸工程と同じ処理を行えばよい。例えば、高圧容器30（図2参照）を使用して、第1の製造方法（図3参照）におけるステップS2からステップS9の工程を行うことでヒートシンク材10Cを得ることができる。

【0168】この第5の製造方法によれば、ステップS602で行う加圧処理において、粉体の圧粉状況により熱膨張率と熱伝導率を所望の値に制御することができる。

【0169】また、得られたヒートシンク材10Cは、熱伝導率がより等方性になり、濡れ性、材料歩留まりも向上するという特徴を持つ。

【0170】さらに、金属14の方がネットワークになるので強度を上げることができ、残留気孔も減少させることができる。

【0171】またさらに、ヒートシンク材10Cを廉価に製造することができる。すなわち、含浸前のブロックは脆いためにそのままでは加工できない。しかし、粉末予備成形品は、そのものの形状に成形しておいてから含浸することができ、かつ、その後多少の塑性変形にも耐えうるため、複雑形状のヒートシンク材10Cを廉価に得ることができる。

【0172】この第5の製造方法においても、前述の各製造方法の場合と同様に、含浸させる金属14に炭化物を形成する元素を添加することで熱膨張を下げるができる。また、濡れ性等の改良元素を添加することにより含浸率を向上させることができる。

【0173】また、高い含浸圧力を付与した場合の方が、含浸率が上がり、強度、熱伝導率も向上する。

【0174】ここで、第5の製造方法による含浸実施例を図17に示す。図17の充填方法の欄で「無加圧」と表示されているものは、上記加圧工程ステップS602を省略して粉体を敷き詰めた混合物にそのまま金属14を含浸させたことを示している。また、「加圧」と表示されているものは、粉体1000cm³に水ガラス10cm³と水100cm³を添加して圧粉し、その後予熱時（1200℃）に水と水ガラスを除去させて成形したものである。

【0175】次に、第3の実施の形態に係るヒートシンク材10の第6の製造方法について図18を参照しながら説明する。この第6の製造方法では、まず、金属を溶解した熔融金属14又は固液共存状態の金属（固液共存金属）を用意する（ステップS701）。ここで、固液共存状態とは金属（一般には合金）を半融状態にしたもの、又は金属溶湯を冷却、攪拌して半凝固状態にしたものをいい、金属を加熱し直接的に半融状態にしたものと、一度完全に溶解した後に冷却して半凝固状態にしたものの両方を指す。

【0176】次に、カーボン又はその同素体の粉体12aを前記熔融金属14または固液共存状態の金属に混合させる（ステップS702）。

【0177】そして、この粉体12aを混合させた熔融金属14または固液共存金属を鋳造加工し、所望の形状に成形することでヒートシンク材10Cを得ることができる（ステップS703）。

【0178】第6の製造方法において得られたヒートシンク材10Cは、第5の製造方法により作製したものと同様の特徴を有する。

【0179】次に、1つの実験例（第1の実験例）を示す。この第1の実験例は、3種類のカーボン（P、M、N）について、含浸する金属14の種類、添加元素の種類、含浸方法を変えて、2方向の熱伝導率の違い、2方向の熱膨張率の違い、2方向の曲げ強度の違い、耐水性、添加元素の効果をそれぞれ見たものである。この実験例の結果を図19～図21に示す。また、3種類のカーボン（P、M、N）の各特性を図22に示す。

【0180】なお、耐水性は、デシケータ内に少量の水とサンプルを入れ、サンプルを水に浸さずに水の雰囲気曝した状態にして検査した。

【0181】まず、含浸方法として金型プレスを用いた場合について見てみると、熱伝導率については、添加元素を含んだ銅合金を含浸させたものの方が純銅を含浸させたものよりも全体に高くなっている。本来、純銅の方が熱伝導率が高いが、カーボンとの濡れ性が悪く、含浸しにくいこと、含浸後のカーボンと金属の界面で熱伝導率が低下することなどが原因と考えられる。

【0182】また、純アルミを含浸させたものは、カー

バイドを生成する効果とカーボンに対する濡れ性が高いため、純銅を含浸させた場合よりも熱伝導率の高いものが得られるが、添加元素を含む銅合金を含浸させたものの方が熱伝導率が高くなっている。

【0183】しかし、含浸方法としてガス加圧を用いた場合は、金型プレスによる場合よりも熱伝導率が高くなっており、ガス加圧によって純銅を含浸させたものの熱伝導率は、添加元素を含んだ銅合金を含浸させたものとはほぼ同じになっている。図23に、図19～図21に示す実験結果のうち、金型プレスによる場合とガス加圧による場合の各代表例を抽出して示す。

【0184】これは、ガス加圧の方が予熱温度及び浴湯温度の制御がやりやすいためである。もちろん、金型プレスにおいても、設備上の工夫をすることで同レベルの含浸特性（熱伝導率が高くなる）を得ることができる。

【0185】熱膨張率については、すべてのカーボンにおいて、純銅を含浸させたもの、銅合金を含浸させたもの、純アルミを含浸させたもので違いはなく、含浸方法によっても違いはなかった。

【0186】また、濡れ性を向上させる添加元素を含む銅合金を含浸させたものは、耐水性が良好であり、カーバイドの生成が容易になる添加元素を含む銅合金を含浸させたものは、カーボンのみよりも曲げ強度が向上していることがわかる。

【0187】また、これら各サンプルは、面方向と厚さ方向の熱伝導率の比が1:5以下となっており、ほとんど等方性に近い特性を有するため、ヒートシンクとして使用する場合に、設置方向をいちいち考慮する必要がなく、実装面で有利となる。

【0188】さらに、2つの実験例（第2及び第3の実験例）を示す。これらの実験例は、第1の実施の形態における、カーボンに金属を含浸させる含浸工程で、容器内を含浸加圧する際を含浸圧力を変えて、残留気孔、密度、均質化、圧縮強度、及び直交する2つの面方向における熱伝導率の違いをそれぞれ見たものである。

【0189】第2の実験例は、含浸圧力を26.7 MPa (272 kgf/cm^2)、及び156.0 MPa (1592 kgf/cm^2)で行った。この実験例の結果を図24に示す。

【0190】図24は、縦軸に気孔率（□で示す）、及び密度（○で示す）をとって、横軸に含浸圧力を取り、プロットしたものである。気孔率のプロットを□で示し、密度のプロットを○で示す。この実験結果から高い含浸圧力を付与した場合の方が、密度は大きくなり、しかも気孔率は減少していることがわかる。

【0191】また、カーボンの圧縮強度（規格：JIS R 1608 ファインセラミックスの圧縮強さ試験方法）は面方向で24.5～34.3 MPa ($250 \sim 35 \text{ kgf/cm}^2$)、厚さ方向で34.3～44.1 MPa ($350 \sim 450 \text{ kgf/cm}^2$)なので、この

実験から、上記含浸工程ではカーボンの圧縮強度の4～5倍の含浸圧力を付与した場合でも製造上問題のないことが確認できた。

【0192】第3の実験例は、含浸圧力を26.7 MPa (272 kgf/cm^2)、及び60.0 MPa (612 kgf/cm^2)で行った。この実験例の結果を図25～図29に示す。

【0193】図25は縦軸に測定密度をとって、横軸に各ロットの密度平均をとりプロットしたものである。

【0194】この図25から、含浸圧力を高くした方がロットごとの密度平均のばらつきが小さいことが分かる。

【0195】図26～図28は、横軸に含浸圧力をとって、縦軸にはそれぞれ、厚さ方向の熱伝導率、圧縮強度、及び密度をとってプロットしたものである。これらの図26～図28から、高い含浸圧力を付与した場合の方が、各特性とも値が向上していることがわかる。

【0196】図29は、直交する2つの面方向での熱伝導率の違いをプロットしたものである。一方をX方向として横軸にとり、もう一方をY方向として縦軸にとった。この図29から、高い含浸圧力を付与した場合の方が、面方向でのばらつきが少ないことがわかる。

【0197】前記第2及び第3の実験例では、含浸圧力を高くしたことで、金属14の含浸量が増えたことにより、各効果を奏したものと考えられる。

【0198】さらに、別の2つの実験例（第4及び第5の実験例）を示す。この第4及び第5の実験例は、第4の実施の形態において、カーボンに金属14を含浸させる含浸工程で、含浸加圧する際を含浸圧力と、金属14に添加する元素とを変えて、残留気孔の変化をそれぞれ見たものである。

【0199】第4の実験例は、含浸金属にCu0.1Nbを採用し、含浸圧力を加えない元素材と、27 MPa、48 MPa、及び60 MPaを加圧した場合で行った。この実験例の結果を図31に示す。

【0200】図31は横軸に気孔径、縦軸に残留気孔容積をとり、各含浸圧力の場合における違いを見たものである。この図31から、含浸圧力を上げることで含浸後の残留気孔率が減少していることが分かる。

【0201】第5の実験例は、含浸させる金属に元素を添加しない元素材と、Cu5Siを添加した場合及びCu0.1Nbを添加した場合であり、含浸圧力については27 MPaの場合と43 MPaの場合で実験した。この実験例の結果を図32に示す。

【0202】図32における元素材は、図31における元素材と同条件であるので、それぞれの波形はほぼ同じ形状になっている。

【0203】添加した元素のCu5Siは、固相/液相温度範囲が30℃以上あるので、Cu0.1Nbに比べて湯流れ性（濡れ性）がよい。その結果、Cu5Siを

添加したものの方が残留気孔が減少していることが分かる。また、含浸圧力を上げた方が含浸後の残留気孔が減少する傾向がみられるが、これは図 31 と同じ傾向といえる。また、残留気孔が減少することにより強度の向上を図ることができる。

【0204】次に、カーボン又はその同素体に代えて、SiC を多孔質焼結体として利用する場合について説明する。

【0205】SiC に濡れ性改善のための添加剤を入れるには、金属の成分に 5% までの範囲で、Be、Al、Si、Mg、Ti、Ni から選択された 1 種以上の添加元素を含むことが好ましい。これらの元素は、カーボンを多孔質焼結体として利用した場合とは異なるので注意する。

【0206】そして、SiC と金属 14 との濡れ性の向上を図って、SiC に予め 1~10 vol%、望ましくは 3~5 vol% の Ni めっきを施すことが好ましい。この場合、低圧力での含浸を実現させることができる。ここでいう、Ni めっきとしては、予熱時に溶融しないめっき処理が望ましく、例えば Ni-P-W のめっきや Ni-B-W のめっき等が含まれる。

【0207】また、SiC と金属 14 との濡れ性の向上を図って、SiC に予め Si を 1~10 vol%、望ましくは 3~5 vol% 含浸させることが好ましい。この場合も低圧力での含浸を実現させることができる。

【0208】そして、前記 SiC に予め 1~10 vol% の Ni めっきを施す、あるいは、予め Si を 1~10 vol% 含浸させることに関連して、SiC に予めパラジウムめっきを施すようにしてもよい。この場合、前記パラジウムめっきに加えて、Ni や Si との複合めっきを施すことも可能である。

【0209】また、SiC と金属 14 は高温において反応が生じ、該 SiC が Si と C に分解されて本来の機能が発揮されなくなる。このため、SiC と金属 14 とが高温で直接接触する時間を短縮することが必要である。第 1 の処理条件（高圧容器 30 に付与する圧力 = 0.98 MPa (10 kgf/cm²) 以上、98 MPa (1000 kgf/cm²) 以下)、第 2 の処理条件（加熱温度 = 金属 14 の融点より 30℃~250℃高い温度）又は第 3 の処理条件（SiC に予め 1~10 vol% の Ni めっきを施す）を満足させることにより、SiC と金属 14 との接触時間を短くすることができるため、前記のような SiC の分解反応を事前に回避することができる。

【0210】また、SiC と金属 14 とは濡れ性が悪いことから、金属 14 を十分に含浸させるには高圧力をかけることが必要である。第 3 の処理条件（SiC に予め 1~10 vol% の Ni めっきを施す）、又は第 4 の処理条件（SiC に予め Si を 1~10 vol% 含浸させる）を行うことにより SiC の気孔表面が改質され、S

iC と金属 14 との濡れ性が良好となるため、より低圧力でより細かい気孔にまで金属 14 を含浸させることができる。

【0211】ここで、さらに別の実験例（第 6 の実験例）を示す。この第 6 の実験例は、SiC の気孔率、気孔径、Ni めっきの有無、Si 含浸の有無、含浸温度、加圧力、加圧時間、冷却速度を適宜変えて、そのときの SiC/Cu の反応状況と Cu の含浸状況の違いをみたものである。その実験結果を図 30 の表図に示す。この図 30 において、SiC/Cu の反応状況は、SiC と Cu との間に形成された反応層の厚み（平均値）によって決定させた。その決定条件は、以下の通りである。また、この決定条件の根拠は、SiC と Cu との間に 5 μm 以上の反応層が生じると、SiC と Cu 間の熱伝達が悪化し、半導体ヒートシンク用複合材料とした場合の熱伝導率が低下するからである。

【0212】・反応層の厚み（平均）が 1 μm 以下 → 「反応無し」

・反応層の厚み（平均）が 1 μm を超え 5 μm 以下 → 「反応少」

・反応層の厚み（平均）が 5 μm を超える → 「反応大」

【0213】この実験結果から、SiC の気孔率、気孔径、含浸温度、加圧力、加圧時間及び冷却速度についてそれぞれ所定範囲を満足するもの（サンプル 3、7、8、11 及び 12）については、いずれも SiC/Cu の反応状況が「反応無し」で、かつ Cu の含浸状況が良好となっており、良好な結果が得られている。

【0214】これらサンプルのうち、サンプル 3、7、11 及び 12 については、Ni めっきあるいは Si 含浸を行っているため、Cu との濡れ性が良好となり、加圧時間を短くしても前記のように良好な結果が得られた。また、サンプル 8 については、Ni めっき及び Si 含浸を行っていないが、加圧力を高くしたことによって、加圧時間を短くすることが可能となり、前記のように良好な結果が得られた。

【0215】一方、加圧力が前記所定範囲よりも低い 0.78 MPa (8 kgf/cm²) であるサンプル 1、5 及び 9 については、Cu の含浸状況がいずれも不十分となっており、これらサンプルのうち、加圧時間が長いものについては（サンプル 1 及び 5）、SiC/Cu の反応状況が「反応大」となっている。

【0216】なお、サンプル 6 について、SiC/Cu の反応状況が「反応少」にも拘わらず含浸状況が不十分となっているのは、気孔率及び気孔径がそれぞれ所定範囲を満たしていないからと考えられ、サンプル 14 について、含浸状況が良好であるにも拘わらず SiC/Cu の反応状況が「反応大」となっているのは、気孔径が所定範囲よりも大きく、加圧時間が比較的長いからと考えられる。

【0217】次に、多孔質焼結体にSiCを利用した実施の形態について説明する。まず、前記第1の実施の形態（第1の製造方法、第1の変形例、第2の変形例、及び第2の製造方法）において、SiCを利用する場合は、グラファイトを焼成して多孔質焼結体を作製する工程（ステップS1、ステップS101、ステップS201、ステップS301、及びステップS302）は不要であり、その後のステップでは同じ工程で製造することができる。

【0218】さらに、多孔質焼結体にSiCを利用した実施の形態として、第4の実施の形態に係る製造方法（第7の製造方法）について、図33～図36を参照しながら説明する。

【0219】この第7の製造方法は、具体的には図33にその一例を示すように、ホットプレス機1060を使用することによって行われる。このホットプレス機1060は、前記第2の実施の形態で説明したホットプレス機102とほぼ同じ構造であるが、便宜上、図を分けて説明する。

【0220】このホットプレス機1060は、筒状の筐体1062内に、基台を兼ねる下パンチ1064と、該下パンチ1064上に固定された上面開口の耐火容器1066と、該耐火容器1066内に上方から進退自在とされた上パンチ1068と、前記耐火容器1066を加熱するためのヒータ1070が設けられている。なお、このホットプレス機1060には、真空引きのための吸気管1072が設けられている。

【0221】前記耐火容器1066は、中空部1074を有する筒状の形状を有する。上パンチ1068は、その側面に、該上パンチ1068の行程（ストローク）を決定するフランジ部1076が設けられ、該フランジ部1076の下面には、前記耐火容器1066の上周面と接触して耐火容器1066を密閉状態にするためのパッキン1078が取り付けられている。一方、下パンチ1064の内部には、耐火容器1066内を加熱するための加熱用流体や耐火容器1066内を冷却するための冷却用流体を流通させる通路1080が設けられている。

【0222】そして、第7の製造方法は、図34に示す工程を踏むことにより行われる。

【0223】まず、耐火容器1066の中空部1074内に、下からSiC1020、多孔質セラミック製のフィルタ1054、金属14の塊の順で投入する（ステップS1301）。フィルタ1054としては、気孔率が40%～90%で、かつ気孔径が0.5mm～3.0mmである多孔質セラミック材を用いることが望ましく、より好ましくは気孔率が70%～85%で、かつ気孔径が1.0mm～2.0mmである多孔質セラミック材を用いることが望ましい。

【0224】また、前記フィルタ1054は、SiC1020と金属14の塊とを仕切って両者を非接触状態に

おく仕切板としての機能を果たし、中空部1074のうち、フィルタ1054上の金属14の塊がセットされた部分を上室1074a、フィルタ1054下のSiC1020がセットされた部分を下室1074bとして定義することができる。

【0225】次に、耐火容器1066を密封した後、吸気管1072を通じて耐火容器1066内の真空引きを行って該耐火容器1066の両室1074a及び1074b内を負圧状態にする（ステップS1302）。

【0226】その後、ヒータ1070に通電して上室1074a内の金属14を加熱溶解する（ステップS1303）。このとき、前記ヒータ1070への通電と併せて下パンチ1064の通路1080内に加熱用流体を流して耐火容器1066の内部を加熱するようにしてもよい。

【0227】上室1074a内の金属14の溶解物（熔融金属）が所定温度に達した段階で、上パンチ1068を下方に移動させて上室1074a内を所定圧まで加圧する（ステップS1304）。このとき、上パンチ1068のフランジ部1076に取り付けられたパッキン1078と耐火容器1066の上周面との接触及び互いの押圧により、耐火容器1066が密封され、内部の熔融金属が耐火容器1066の外に漏れるという不都合が有効に防止される。

【0228】所定圧になった上室1074a内の金属14の溶解物（熔融金属）は上室1074a内の圧力によってフィルタ1054を通して下室1074b側に押し出されて該下室1074b内に導入されると同時に、該下室1074b内に設置されたSiC1020に含浸される。

【0229】時間管理によって予め設定されている終点（SiC1020内への熔融金属14の含浸が飽和状態とされた時点）となった段階において、今度は、下パンチ1064内の通路1080に冷却用流体を流して耐火容器1066を下方から上方に向かって冷却させることにより（ステップS1305）、SiC1020に含浸された熔融金属14を凝固させる。凝固が完了するまで上パンチ1068と下パンチ1064による耐火容器1066内の加圧状態は保持される。

【0230】凝固が完了した時点で、金属14が含浸されたSiC1020を耐火容器1066から取り出す（ステップS1306）。

【0231】この製造方法においては、SiC1020と金属14とを十分に脱気しつつ加熱し、金属14を熔融した後、速やかにSiC1020に接触させ、かつ、これらを加圧状態とし、さらにその加圧状態を冷却操作完了時まで保持するようにしたので、SiC1020に金属14を効率的に含浸することができる。前記例では含浸処理を負圧下で行うようにしたが、常圧下で行ってもよい。

【0232】このように、熔融金属14とSiC1020を共に加圧下においた後に、互いに接触させて、含浸処理を行うようにしたので、両者を接触させる際の圧力低下を最小限にすることができ、含浸処理時における加圧状態を良好に保持させることができる。

【0233】前記例では、熔融金属14の漏れを防止するために、上パンチ1068におけるフランジ部1076の下面にパッキン1078を設けるようにしたが、図33の二点鎖線で示すように、耐火容器1066の上周面にパッキン1078を設けるようにしてもよい。また、図35Aに示すように、リング状の割型パッキン1100を2枚重ねにしたパッキン部材1102を、図36に示すように、上パンチ1068の下部に設けるようにしてもよい。この場合、パッキン部材1102の中空部1104に熔融金属が入り込むことにより各割型パッキン1100の直径が拡大し、結果的に上室1074aが密封されて熔融金属14の漏れが防止されることになる。

【0234】次に、第7の製造方法の変形例について図37及び図38を参照しながら説明する。なお、図33と対応する構成要素については同符号を付してその重複説明を省略する。

【0235】この変形例に係る製造方法においては、ホットプレス機1060として、図37に示すように、耐火容器1066における中空部1074の高さ方向中央部に多孔質セラミックスにて構成されたフィルタ部材1110が固着され、下室1074bの側面に扉1112が開閉自在に取り付けられたものが使用される。従って、耐火容器1066の中空部1074のうち、フィルタ部材1110よりも上の部分が上室1074aとなり、フィルタ部材1110よりも下の部分が下室1074bとなる。特に、下室1074bに取り付けられた扉1112に関しては、該扉1112を閉じたときに下室1074bが密封されるような構造が採用される。

【0236】そして、この変形例に係る製造方法は、図38に示す工程を踏むことにより行われる。

【0237】まず、耐火容器1066の上室1074a内に金属14の塊を投入し、下室1074bの扉1112を開いて該下室1074b内にSiC1020を投入する(ステップS1401)。

【0238】次に、扉1112を閉じて下室1074bを密封し、さらにホットプレス機1060を密封した後、吸気管1072を通じて耐火容器1066内の真空引きを行って該耐火容器1066の両室1074a及び1074b内を負圧状態にする(ステップS1402)。

【0239】その後、ヒータ1070に通電して上室1074a内の金属14を加熱溶解する(ステップS1403)。この場合も前記ヒータ1070への通電と併せて下パンチ1064の通路1080内に加熱用流体を流

して耐火容器1066の内部を加熱するようにしてもよい。

【0240】上室1074a内の金属14の溶解物(熔融金属)が所定温度に達した段階で、上パンチ1068を下方に移動させて上室1074a内を所定圧まで加圧する(ステップS1404)。

【0241】所定圧になった上室1074a内の金属14の溶解物(熔融金属)は上室1074a内の圧力によってフィルタ部材1110を通して下室1074b側に押し出されて該下室1074b内に導入されると同時に、該下室1074b内に設置されたSiC1020に含浸される。

【0242】時間管理によって予め設定されている終点となった段階において、今度は、下パンチ1064内の通路1080に冷却用流体を流して耐火容器1066を下方から上方に向かって冷却させることにより(ステップS1405)、SiC1020に含浸された熔融金属14を凝固させる。

【0243】凝固が完了した時点で、金属14が含浸されたSiC1020を耐火容器1066から取り出す(ステップS1406)。

【0244】この変形例に係る製造方法においても、第7の製造方法と同様に、SiC1020に金属14を効率的に含浸することができる。また、この変形例でも、熔融金属14とSiC1020を共に加圧下においた後に、互いに接触させて、含浸処理を行うようにしているため、両者を接触させる際の圧力低下を最小限にすることができ、含浸処理時における加圧状態を良好に保持させることができる。なお、この変形例では、負圧下で含浸処理を行うようにしたが、常圧下で行ってもよい。

【0245】さらに、多孔質焼結体にSiCを利用した実施の形態として、第5の実施の形態に係る製造方法(第8の製造方法)について、図39及び図40を参照しながら説明する。なお、図33と対応する構成要素については同符号を記してその重複説明を省略する。

【0246】この第8の製造方法は、前記第4の実施の形態に係る製造方法と原理的にはほぼ同じであるが、含浸工程において、SiC1020と金属14とを負圧下又は常圧下で接触させ、加熱処理して前記金属14を溶解する点で異なる。

【0247】具体的には、図33に示した第3の実施の形態に係る製造方法にて使用されるホットプレス機1060の耐火容器1066内にフィルタ1054を投入せずに、下からSiC1020、金属14の順に投入する点で異なる。

【0248】そして、第5の実施の形態に係る製造方法は、図40に示す工程を踏むことにより行われる。

【0249】まず、耐火容器1066の中空部1074内に、下からSiC1020、金属14の塊の順に投入する(ステップS1501)。

【0250】次に、ホットプレス機1060を密封した後、吸気管1072を通じて耐火容器1066内の真空引きを行って該耐火容器1066内を負圧状態にする（ステップS1502）。

【0251】その後、ヒータ1070に通電して耐火容器1066内の金属14を加熱溶解する（ステップS1503）。このとき、前記ヒータ1070への通電と併せて下パンチ1064の通路1080内に加熱用流体を流して耐火容器1066の内部を加熱するようにしてもよい。

【0252】耐火容器1066内の金属14の溶解物（熔融金属）が所定温度に達した段階で、上パンチ1068を下方に移動させて耐火容器1066内を所定圧まで加圧する（ステップS1504）。

【0253】所定圧になった金属14の溶解物（熔融金属）は耐火容器1066内の圧力によってSiC1020に含浸される。

【0254】時間管理によって予め設定されている終点（SiC1020内への熔融金属の含浸が飽和状態とされた時点）となった段階において、今度は、下パンチ1064内の通路1080に冷却用流体を流して耐火容器1066を下方から上方に向かって冷却することにより（ステップS1505）、SiC1020に含浸された熔融金属を凝固させる。凝固が完了するまで上パンチ1068と下パンチ1064による耐火容器1066内の加圧状態は保持される。

【0255】凝固が完了した時点で、金属14が含浸されたSiC1020を耐火容器1066から取り出す（ステップS1506）。

【0256】この第8の製造方法においても、SiC1020と金属14とを十分に脱気しつつ加熱し、金属14とSiC1020とを接触させた状態で金属14を溶解した後、耐火容器1066内を加圧状態とし、さらにその加圧状態を冷却操作完了時まで保持するようにしたので、SiC1020に金属14を効率的に含浸することができる。

【0257】なお、この発明に係るヒートシンク材及びその製造方法は、上述の実施の形態に限らず、この発明の要旨を逸脱することなく、種々の構成を採り得ることはもちろんである。

【0258】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係るヒートシンク材によれば、実際の電子部品（半導体装置を含む）等で求められる熱膨張率と熱伝導率とのバランスに適合した特性を得ることができる。

【0259】また、本発明に係るヒートシンク材の製造方法によれば、実際の電子部品（半導体装置を含む）等で求められる熱膨張率と熱伝導率とのバランスに適合した特性を有するヒートシンク材を容易に製造することができ、高品質のヒートシンクの生産性を向上させること

ができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態に係るヒートシンク材の構成を示す斜視図である。

【図2】図2Aは第1の製造方法で使用される高压容器の正面を一部破断して示す図であり、図2Bは前記高压容器の側面を一部破断して示す図である。

【図3】第1の製造方法を示す工程ブロック図である。

【図4】第1の製造方法の第1の変形例を示す工程ブロック図である。

【図5】第1の製造方法の第2の変形例を示す工程ブロック図である。

【図6】第2の製造方法で使用される炉を示す構成図である。

【図7】第2の製造方法で使用されるプレス機を示す構成図である。

【図8】第2の製造方法を示す工程ブロック図である。

【図9】第2の実施の形態に係るヒートシンク材の構成を示す斜視図である。

【図10】第3の製造方法で使用される予備成形機を示す構成図である。

【図11】第3の製造方法で使用されるホットプレス機を示す構成図である。

【図12】第3の製造方法を示す工程ブロック図である。

【図13】第4の製造方法を示す工程ブロック図である。

【図14】第4の製造方法で使用されるホットプレス機を示す構成図である。

【図15】第3の実施の形態に係るヒートシンク材の構成を示す斜視図である。

【図16】第5の製造方法を示す工程ブロック図である。

【図17】第5の製造方法に係るヒートシンク材の特性を示す図表である。

【図18】第6の製造方法を示す工程ブロック図である。

【図19】カーボンPにおける実験例の結果を示す図表である。

【図20】カーボンMにおける実験例の結果を示す図表である。

【図21】カーボンNにおける実験例の結果を示す図表である。

【図22】カーボンP、M、Nの特性を示す図表である。

【図23】実験結果のうち、金型プレスによる場合とガス加圧による場合の各代表例を抽出して示す図表である。

【図24】含浸圧力に対する気孔率及び密度の変化を示す特性図である。

【図 25】各ロットの測定密度と密度平均との関係を示す特性図である。

【図 26】含浸圧力に対する熱伝導率の変化を示す特性図である。

【図 27】含浸圧力に対する圧縮強度の変化を示す特性図である。

【図 28】含浸圧力に対する密度の変化を示す特性図である。

【図 29】含浸圧力に対する熱伝導率の変化を示す特性図である。

【図 30】SiC の気孔率、気孔径、Ni めっきの有無、Si 含浸の有無、含浸温度、加圧力、加圧時間、冷却速度を適宜変えたときの SiC/Cu の反応状況と Cu の含浸状況の違いを示す表図である。

【図 31】含浸圧力に対する残留気孔の変化を示す特性図である。

【図 32】添加元素に対する残留気孔の変化を示す特性図である。

【図 33】第 7 の製造方法に使用されるホットプレス機を示す概略構成図である。

【図 34】第 7 の製造方法を示す工程ブロック図である。

【図 35】図 35 A はパッキン部材を示す平面図であり、図 35 B は図 35 A における XXIV B-XXIV B 線上の断面図である。

【図 36】第 7 の製造方法に使用されるホットプレス機その他の例を示す概略構成図である。

【図 37】第 7 の製造方法の変形例に使用されるホットプレス機を示す概略構成図である。

【図 38】第 7 の製造方法の変形例を示す工程ブロック図である。

【図 39】第 8 の製造方法に使用されるホットプレス機を示す概略構成図である。

【図 40】第 8 の製造方法を示す工程ブロック図である。

【符号の説明】

10A、10B、10C…ヒートシンク材

12…多孔質焼結体

12a、12b…カーボン又はその同素体の粉体

14…金属

14a…金属の粉体

30…高压容器

40、124、10

66…耐火容器

60…炉

62…プレス機

70…ケース

82、112…金型

84、114…パンチ

86…溶湯

100、106…予備成形機

102、1060…

ホットプレス機

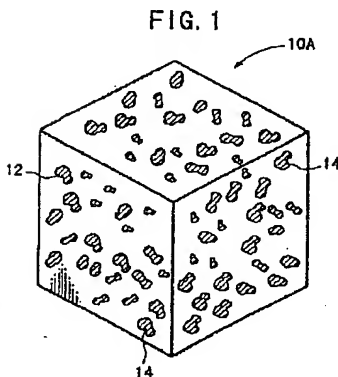
104…混合物

122…下パンチ、

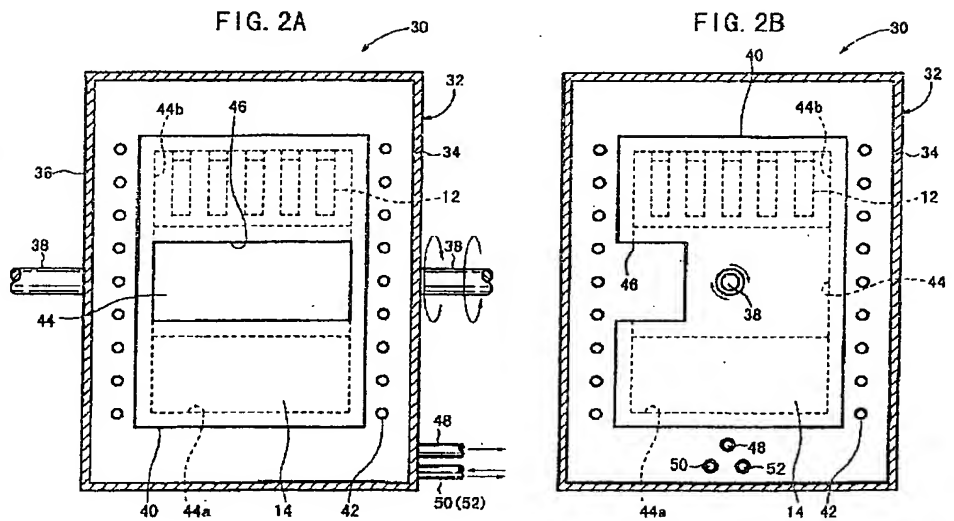
1064

126、1068…上パンチ

【図 1】

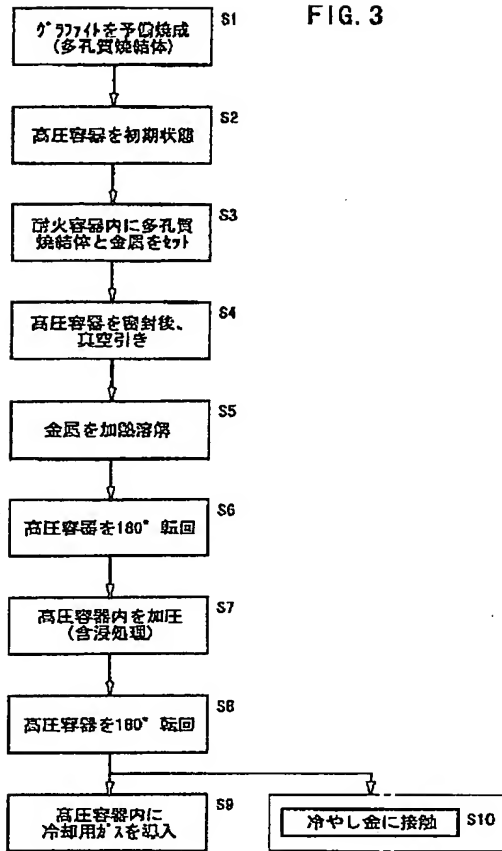


【図 2】



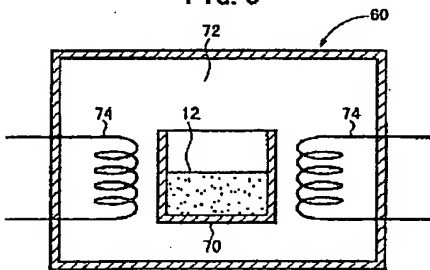
【図3】

FIG. 3



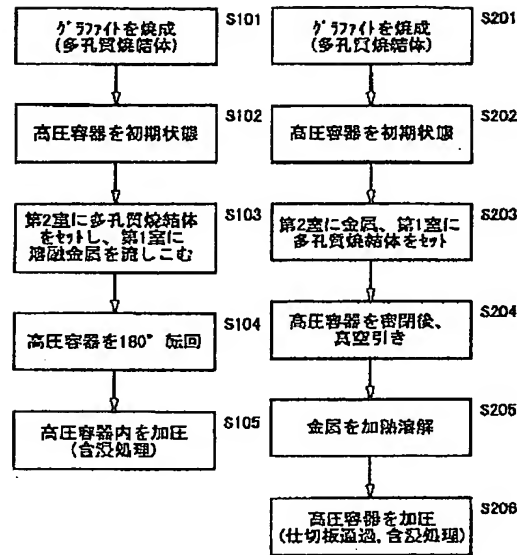
【図6】

FIG. 6



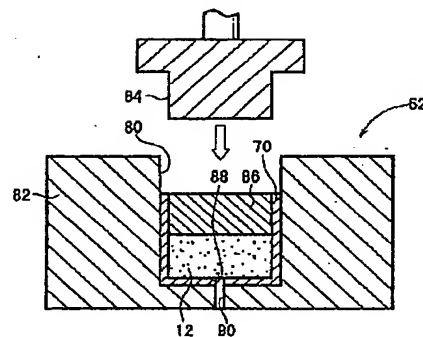
【図4】

FIG. 4



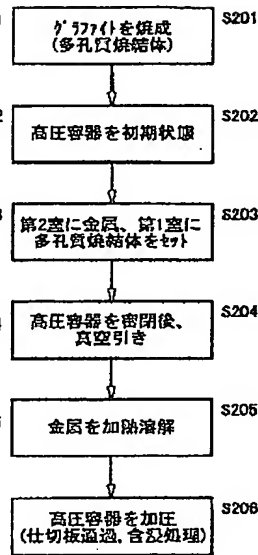
【図7】

FIG. 7



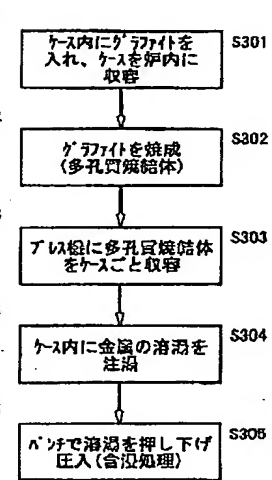
【図5】

FIG. 5



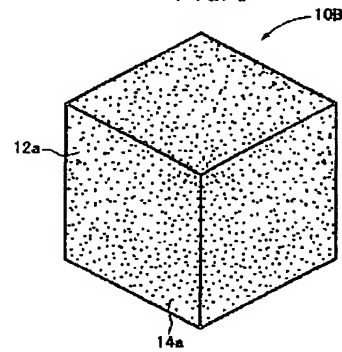
【図8】

FIG. 8



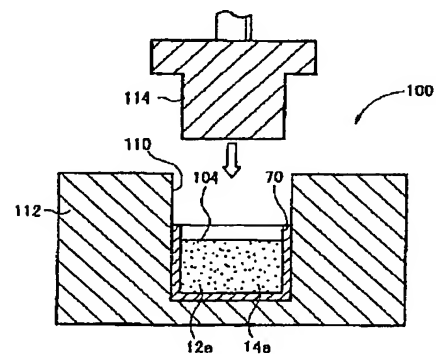
【図9】

FIG. 9

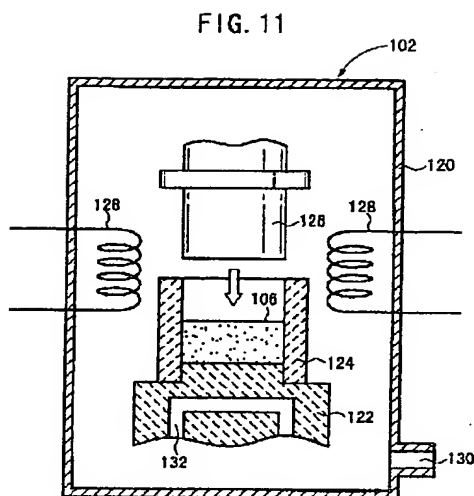


【図10】

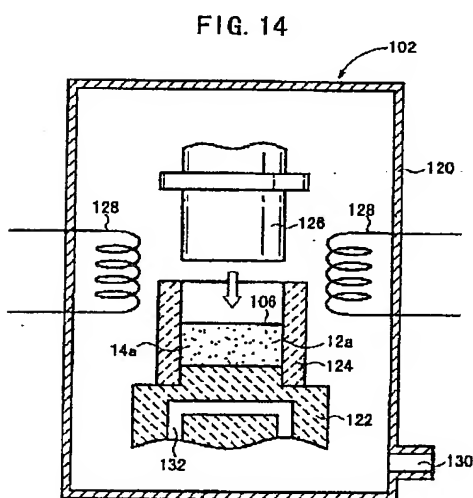
FIG. 10



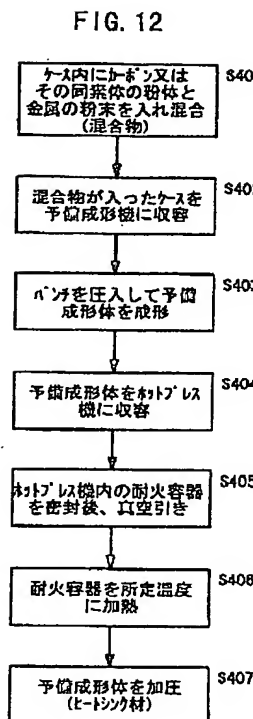
【図11】



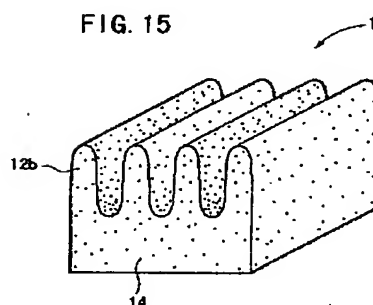
【図14】



【図12】



【図15】

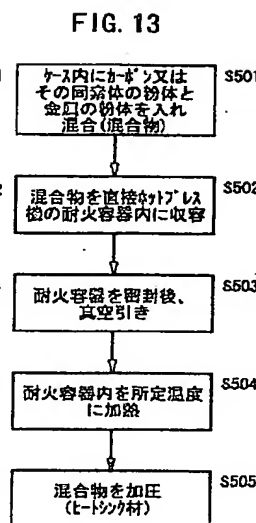


【図20】

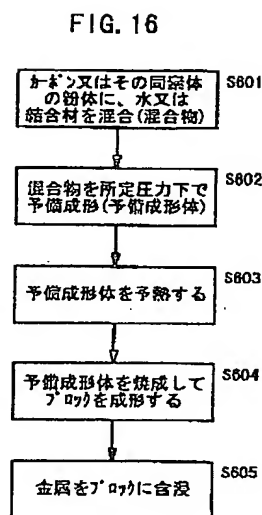
FIG. 20

サンプル	サイズ (mm)	金属	元素	添加量 (wt%)	含浸 方法	熱伝導率 (W/mK)		熱膨張率 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)		曲げ強度 (Mpa)		耐水 性	効果
						面	厚さ	面	厚さ	面	厚さ		
m1-1	20x80x60	Al	なし	なし	プレス	161	187	4.5	5.8	34.3	56.8	△	なし
m1-2	20x60x60	Cu	なし	なし	プレス	145	181	4.5	5.1	28.4	42.1	◎	なし
m2-1	20x80x80	Cu	Te	0.50	プレス	168	199	4.5	5.1	28.5	39.2	◎	溶れ性
m3-1	20x60x60	Cu	Be	1.00	プレス	184	213	4.5	5.1	36.3	59.8	△	カーハイト 生成
m3-2	20x60x60	Cu	Cr	0.50		170	193	4.5	5.1	37.2	60.8		
m3-3	20x60x60	Cu	Mn	0.50		185	192	4.5	5.1	35.3	57.8		
m3-4	20x120x190	Cu	Nb	0.05		162	192	4.5	5.1	35.3	57.8		
m3-5	20x80x80	Cu	Nb	0.05		169	207	4.5	5.1	35.3	57.8		
m3-6	20x60x60	Cu	Zr	0.50	ガス	158	182	4.5	5.1	32.3	52.9	◎	なし
m5-1	20x60x60	Cu	なし	なし		166	198	4.5	5.1	25.5	38.2		

【図13】

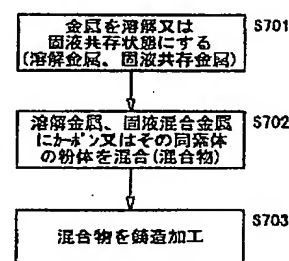


【図16】



【図18】

FIG. 18



【図 17】

FIG. 17

サンプル	サイズ (mm)	粉末 種類	粉末 粒度 (μm)	充填法	金属	添加 元素	添加量 (wt%)	含浸 方法	含浸 圧力 (Mpa)	熱伝導率 (W/mK)	熱膨張率 ($\times 10^{-6}/K$)	耐水性	効果
PW-1	30×120×190	type -P	平均 120	無加圧	Cu	Nb	0.001	プレス	60.0	321	14.0	△	カーバイト 生成
PW-2	30×120×191	type -S	平均 50	無加圧	Cu	Nb	0.001	プレス	60.0	325	13.5	△	カーバイト 生成
PW-3	30×120×192	type -R	212- 1180	無加圧	Cu	Nb	0.001	プレス	60.0	305	13.6	△	カーバイト 生成
PW-4	30×120×193	type -P	平均 120	無加圧	Cu	Nb	0.001	プレス	60.0	321	14.0	△	カーバイト 生成
PW-5	30×120×194	type -P	平均 120	加圧 7MPa	Cu	Nb	0.001	プレス	60.0	311	11.5	△	カーバイト 生成
PW-6	30×120×195	type -P	平均 120	加圧 25MPa	Cu	Nb	1.001	プレス	60.0	301	9.5	△	カーバイト 生成

【図 19】

FIG. 19

サンプル	サイズ (mm)	金属	元素	添加量 (wt%)	含浸 方法	熱伝導率 (W/mK)		熱膨張率 ($\times 10^{-6}/^{\circ}C$)		曲げ強度 (MPa)		耐 水 性	効果
						面	厚さ	面	厚さ	面	厚さ		
p1-1	20x60x60	Al	なし	なし	プレス	171	171	5.3	5.5	33.3	53.9	△	なし
p1-2	20x60x60	Cu	なし	なし	プレス	162	170	5.1	5.1	27.4	41.2	◎	なし
p2-1	20x60x60	Cu	Bi	2.00	プレス	168	178	5.0	5.1	28.4	45.1	◎	濡れ性
p2-2	20x60x60	Cu	Sb	0.50		178	188	5.0	5.1	27.4	41.2		
p2-3	20x60x60	Cu	Te	0.50		180	189	5.0	5.1	26.5	39.2		
p2-4	20x60x60	Cu	Te	2.00		172	178	4.9	5.0	25.5	38.2		
p2-5	20x60x60	Cu	Te,Bi	0.5,0.5		169	176	5.0	5.0	26.5	39.2		
p2-6	20x60x60	Cu	Te,Pb	0.5,2.0		172	185	5.0	5.0	27.4	41.2		
p3-1	20x60x60	Cu	Be	1.00	プレス	184	204	5.0	5.0	34.3	57.8	△	カーバイト 生成
p3-2	20x60x60	Cu	Cr	0.50		187	182	5.0	5.0	37.2	58.8		
p3-3	20x60x60	Cu	Mn	0.50		175	181	5.0	5.0	34.3	56.8		
p3-4	20x60x60	Cu	Nb	0.05		187	190	5.0	5.0	34.3	56.8		
p3-5	20x60x60	Cu	Zr	0.50		172	174	5.0	5.0	24.5	40.2		
p4-1	20x60x60	Cu	Te,Nb	0.5,0.5	プレス	165	177	5.0	5.0	27.4	45.1	○	複合添加
p5-1	20x60x60	Cu	なし	なし	ガス	170	188	5.0	5.0	27.4	41.2	◎	なし
p6-1	10x65x180	Cu	Te	2.00	ガス	185	196	5.0	5.1	26.5	39.2	◎	濡れ性
p6-2	20x60x60	Cu	Te	2.00		192	204	5.0	5.0	28.4	42.1		

【図 22】

FIG. 22

カーボンの 種類	熱伝導率 (W/mK)		熱膨張率 ($\times 10^{-6}/^{\circ}C$)		曲げ強度 (MPa)	
	面方向	厚さ方向	面方向	厚さ方向	面方向	厚さ方向
P	150	180	3.2	3.2	34.3	49.0
M	140	188	3.2	3.2	29.4	44.1
N	150	255	1.8	2.3	14.7	29.4

【図 2 1】

FIG. 21

サンプル	サイズ (mm)	金属	添加 元素	添加量 (wt%)	合浸 方法	合浸 圧力 (Mpa)	熱伝導 率 (W/mK)		熱膨張率 ($\times 10^{-6}/K$)		曲げ強度 (MPa)		圧縮強度 (MPa)		耐水性	効果	
							面	厚さ	面	厚さ	面	厚さ	面	厚さ			
n1-1	20×60×60	Al	無	無	7°以	26.7	156	311	5.5	6.0	31.4	51.9	46.1	51.0	△	無	
n1-4	20×120×190	Al	無	無	7°以	60.0	185	350	5.5	6.5					△		
n1-2	20×60×60	Cu	無	無	7°以	26.7	150	310	3.8	4.5	26.5	39.2			◎		無
n1-3	20×120×190	Cu	無	無	7°以	26.7	147	268	3.9	4.5	26.5	39.2			◎		
n2-1	20×60×60	Cu	Te	0.500	7°以	26.7	190	351	3.8	4.5	26.5	39.2			◎	濡れ性	
n3-1	20×60×60	Cu	Be	1.000	7°以	26.7	193	341	3.8	4.5	38.2	62.7			△		カハト生成
n3-2	20×120×190	Cu	Be	1.000	7°以	155.1	199	342	4.0	4.6	37.2	61.7			△		カハト生成
n3-3	20×60×60	Cu	Cr	0.500	7°以	26.7	180	320	3.8	4.5	36.3	59.8			△		カハト生成
n3-4	20×60×60	Cu	Mn	0.500	7°以	26.7	176	330	3.8	4.5	34.3	55.9	42.1	48.0	△	カハト生成	
n3-5	20×60×60	Cu	Nb	0.050	7°以	155.1	198	336	3.8	4.5	35.3	57.8			△	カハト生成	
n3-6	20×120×190	Cu	Nb	0.050	7°以	26.7	167	309	3.8	4.5	35.3	57.8			△	カハト生成	
n3-7	20×60×60	Cu	Zr	0.500	7°以	26.7	158	312	3.8	4.5	34.3	56.8			△	カハト生成	
n3-8	20×120×190	Cu	Nb	0.001	7°以	43.3	182	352	4.5	3.0			40.2	51.9	△	カハト生成	
n3-9	20×120×190	Cu	Nb	0.001	7°以	60.0	182	363	4.0	3.0			42.1	51.9	△	カハト生成	
n3-10	20×120×190	Cu	Nb	1.100	7°以	60.0	196	359	4.0	2.5			51.0	58.8	△	カハト生成	
n3-11	20×120×190	Cu	Be	1.900	7°以	60.0	186	366	4.5	3.5			57.8	64.7	△	カハト生成	
n3-12	20×120×190	Cu	Ni, Sn	9.4, 6.7	7°以	60.0	190	343					51.9	51.0	◎	複合添加	
n3-13	20×120×190	Cu	Ni, Si, P	1.0, 0.23, 0.04		60.0	190	353					48.0	51.9	○		複合添加
n3-14	20×120×190	Cu	Mn	4.180	7°以	60.0	181	352					51.0	54.9	△	カハト生成	
n3-15	20×120×190	Cu	Cr	2.870	7°以	60.0	195	387					48.0	51.9	△	カハト生成	
n3-16	20×120×190	Cu	Zr	4.490	7°以	60.0	207	367					53.9	63.7	△	カハト生成	
n3-17	20×120×190	Cu	Si	11.300	7°以	26.7	157	333					53.9	60.8	◎	固液範囲拡大	
n3-18	20×120×190	Cu	Si	10.900	7°以	60.0	159	316					56.8	68.6	◎	固液範囲拡大	
n3-19	20×120×190	Cu	Si	5.170	7°以	153.0	165	343					52.9	62.7	◎	固液範囲拡大	
n3-20	20×120×190	Cu	Si	5.300	7°以	43.3	163	325					54.9	60.8	◎	固液範囲拡大	
n5-1	20×60×60	Cu	無	無	7°以	26.7	170	320	3.8	4.5	26.5	39.2			◎	無	
n7-1	20×120×190	Al	Be	2.000	7°以	60.0	177	332	5.0	6.5			57.8	62.7	△	カハト生成	
n7-2	20×120×190	Al	Si	5.000	7°以	60.0	169	329	5.0	6.5			50.0	61.7	◎	固液範囲拡大	
n7-3	20×120×190	Al	Si	12.000	7°以	60.0	181	327	5.0	6.5			56.8	68.6	◎	固液範囲拡大	

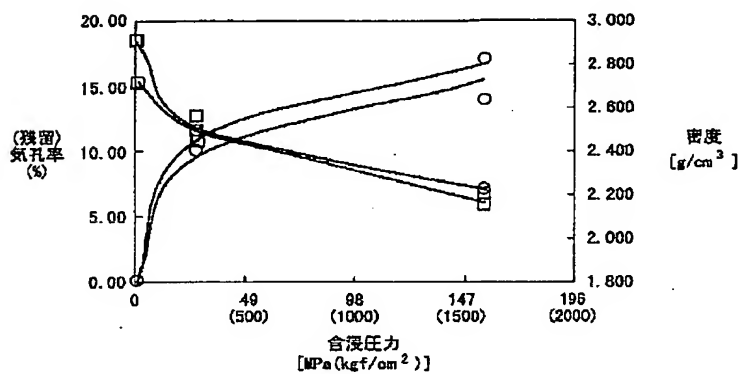
【図 23】

FIG. 23

サンプル	サイズ (mm)	金属	元素	添加 量 (wt%)	含浸 方法	熱伝導率 (W/mK)		熱膨張率 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)		曲げ強度 (MPa)		耐水 性	効果
						面	厚さ	面	厚さ	面	厚さ		
p1-2	20x80x60	Cu	なし	なし	プレス	162	170	5.1	5.1	27.4	41.2	⊕	なし
p5-1	20x80x60	Cu	なし	なし	ガス	170	188	5.0	5.0	27.4	41.2	⊕	なし
p2-4	20x80x80	Cu	Te	2	プレス	172	178	4.9	5.0	25.5	38.2	⊕	濡れ性
p6-2	20x80x80	Cu	Te	2	ガス	192	204	5.0	5.0	28.4	42.1	⊕	濡れ性
m1-2	20x60x60	Cu	なし	なし	プレス	145	181	4.5	5.1	28.4	42.1	⊕	なし
m5-1	20x60x60	Cu	なし	なし	ガス	166	198	4.5	5.1	26.6	38.2	⊕	なし
n1-2	20x80x60	Cu	なし	なし	プレス	160	310	3.8	4.5	28.5	39.2	⊕	なし
n5-1	20x60x80	Cu	なし	なし	ガス	170	320	3.8	4.5	26.5	39.2	⊕	なし

【図 24】

FIG. 24



【図 35】

FIG. 35A

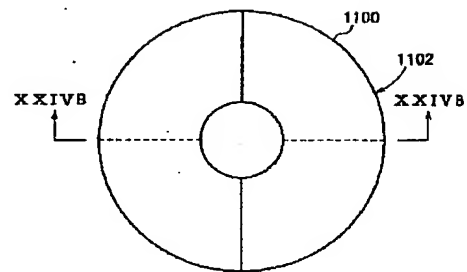


FIG. 35B

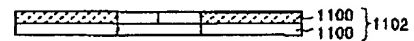
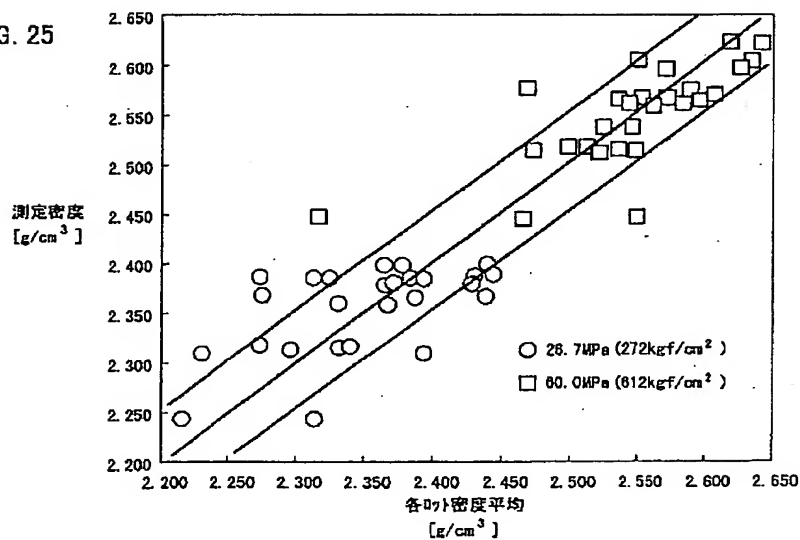
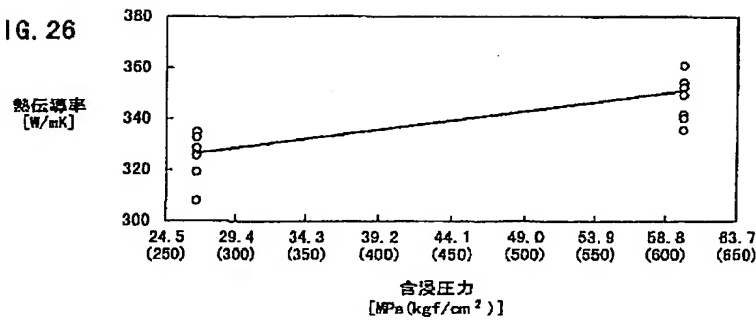


FIG. 25



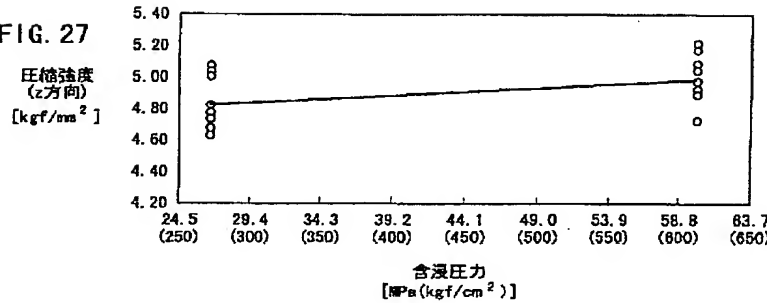
【図26】

FIG. 26



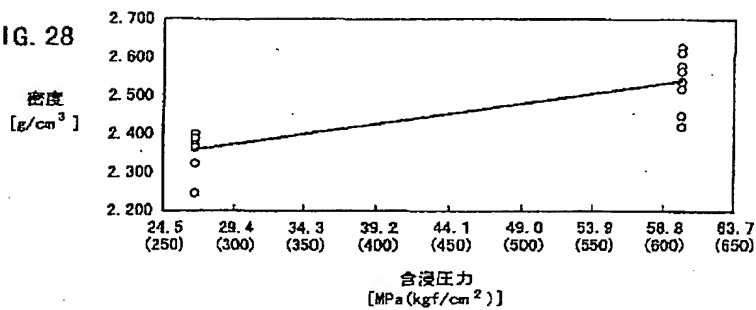
【図27】

FIG. 27



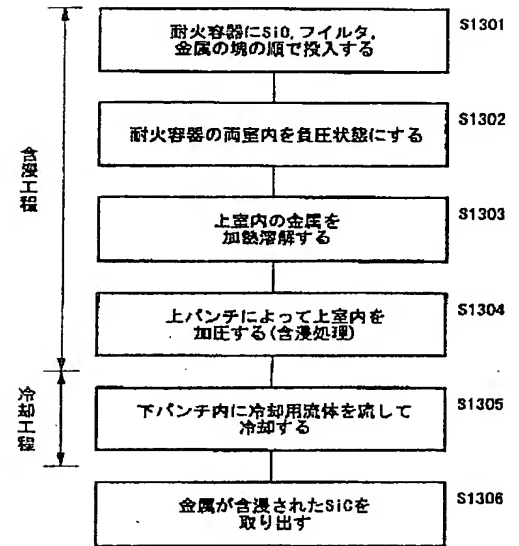
【図28】

FIG. 28



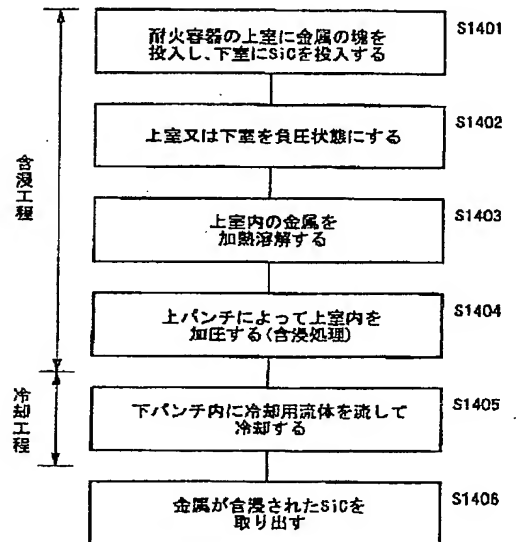
【図34】

FIG. 34

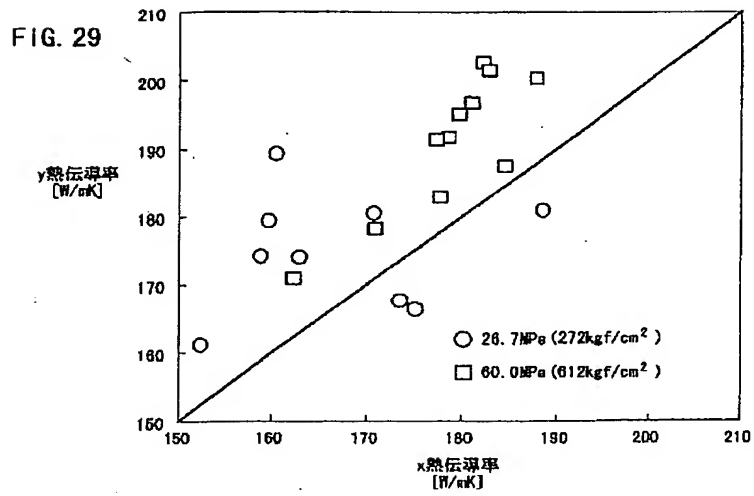


【図38】

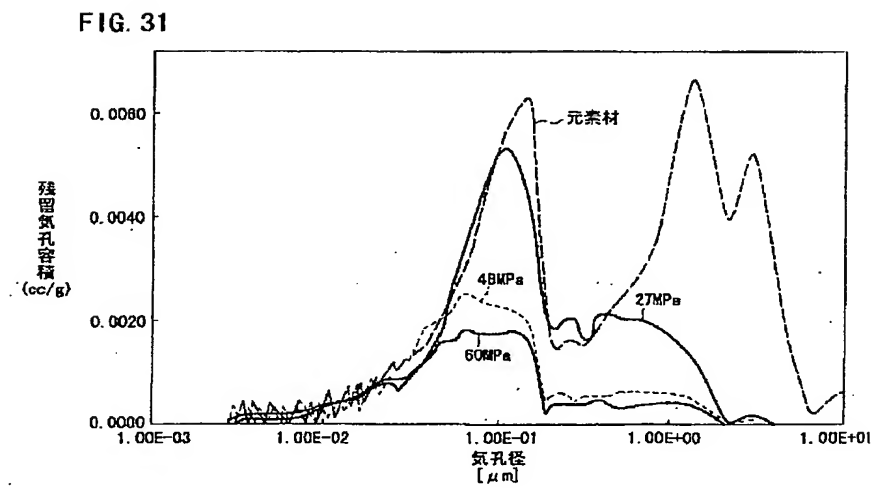
FIG. 38



【図29】



【図31】



【図30】

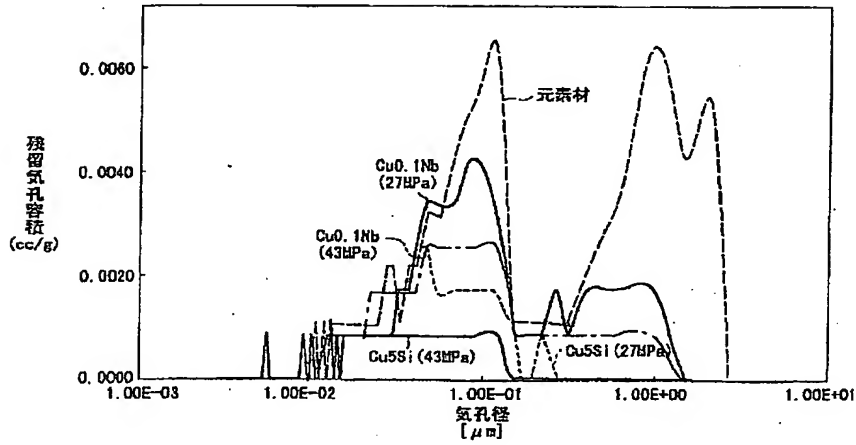
FIG. 30

No.	気孔率 [%]	気孔径 [μm]	Ni めっき	Si 含浸	含浸 温度 [$^{\circ}\text{C}$]	加圧力 [Mpa (kgf/cm 2)]	加圧時間 [sec]	冷却速度 [$^{\circ}\text{C}/\text{min}$]	Si/Cuの 反応状況	含浸状況
サンプル 1	35	70	無	無	1130	0.78 (8)	60	260	Δ	Δ
サンプル 2	44	22	無	無	1130	7.84 (80)	20	900	\circ	\circ
サンプル 3	59	42	無	有	1130	11.8 (120)	10	480	\circ	\circ
サンプル 4	15	5	有	無	1130	23.5 (240)	10	900	\circ	\circ
サンプル 5	59	42	無	有	1180	0.78 (8)	60	900	Δ	Δ
サンプル 6	15	5	無	無	1180	3.92 (40)	20	480	\circ	Δ
サンプル 7	59	42	無	有	1180	11.8 (120)	10	900	\circ	\circ
サンプル 8	44	22	無	無	1180	23.5 (240)	10	620	\circ	\circ
サンプル 9	44	22	無	有	1230	0.78 (8)	20	480	\circ	Δ
サンプル 10	59	42	有	無	1230	3.92 (40)	35	790	\circ	\circ
サンプル 11	35	70	無	無	1230	7.84 (80)	100	620	\circ	\circ
サンプル 12	44	22	無	有	1230	23.5 (240)	5	620	\circ	\circ
サンプル 13	59	42	無	無	1280	3.92 (40)	50	790	\circ	\circ
サンプル 14	35	70	無	無	1280	7.84 (80)	35	480	Δ	\circ
サンプル 15	44	22	有	無	1280	7.84 (80)	5	620	\circ	\circ
サンプル 16	59	42	無	有	1280	11.8 (120)	10	790	\circ	\circ
サンプル 17	20	21	無	無	1150	156.1	3	900	\circ	\circ
サンプル 18	20	19	無	無	1150	156.1	5	900	\circ	\circ
サンプル 19	20	23	無	無	1140	69.3	5	900	\circ	\circ
サンプル 20	20	22	無	無	1145	26.7	7	900	\circ	\circ

注) Si/Cuの反応 : \circ 反応無し \circ 反応少 Δ 反応大
Cuの含浸状況 : \circ 含浸良好 \circ 含浸やや不十分 Δ 含浸不十分

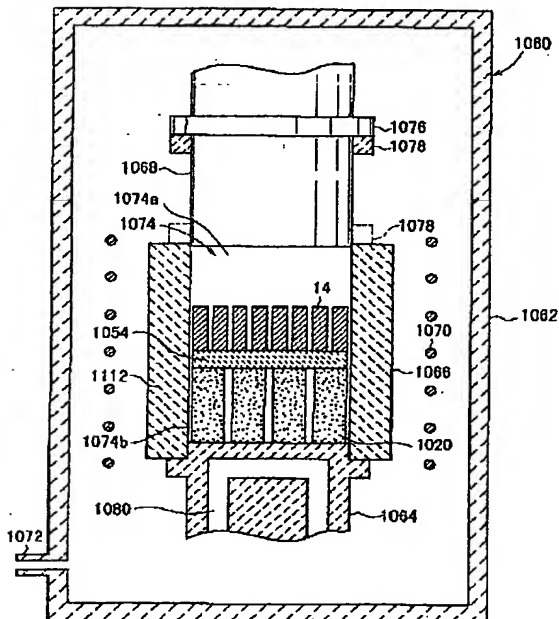
【図32】

FIG. 32



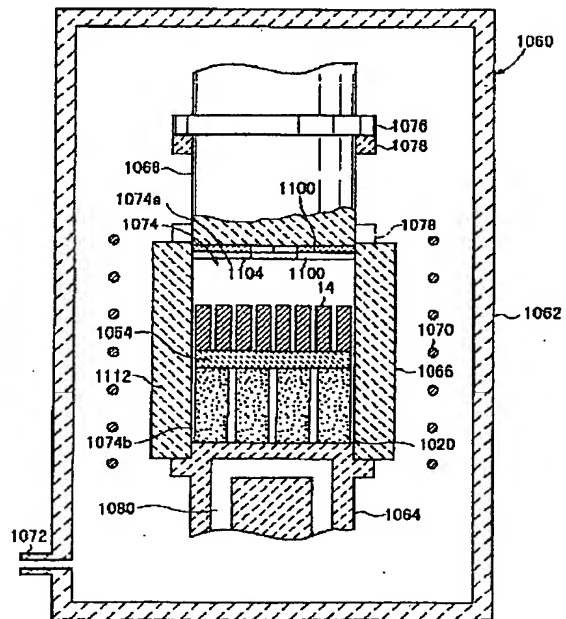
【図33】

FIG. 33



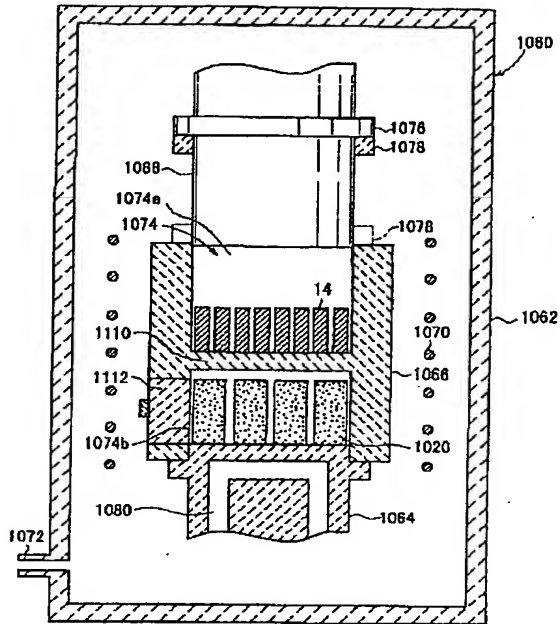
【図36】

FIG. 36



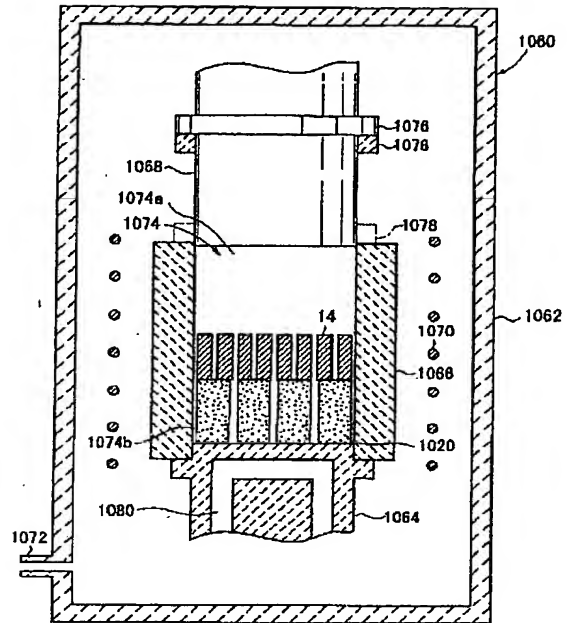
【図37】

FIG. 37



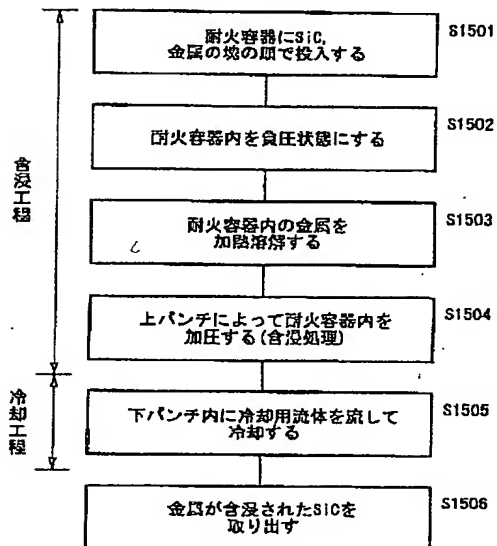
【図39】

FIG. 39



【図40】

FIG. 40



フロントページの続き

(51)Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
C 2 2 C	1/05	C 2 2 C 1/05	E
			P
		1/10	E
	1/10		G
		H 0 1 L 23/36	M
(72)発明者 鈴木 健	愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 56 号 日 本碍子株式会社内	(72)発明者 安井 誠二	愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 56 号 日 本碍子株式会社内
(72)発明者 中山 信亮	愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 56 号 日 本碍子株式会社内	F ターム (参考)	4K018 AA02 AA04 AA15 AB07 AC01 AD17 DA19 EA06 FA35 KA32 4K020 AA22 AA24 AC01 AC04 AC05 BA02 BB23 BB26 BB29 5F036 AA01 BB01 BD01 BD11
(72)発明者 竹内 広幸	愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 56 号 日 本碍子株式会社内		